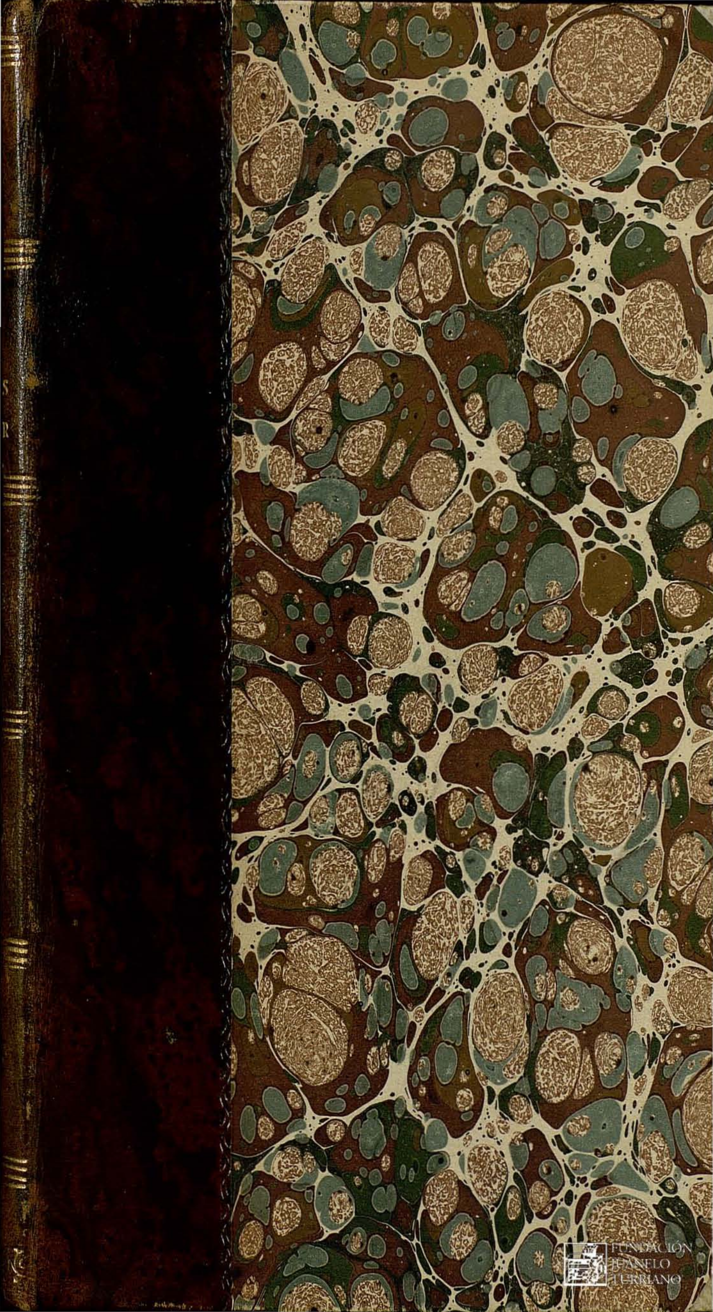

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO


FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO



Descripcion

DE LAS

Máquinas de Vapor

Y DE SUS MAS IMPORTANTES APLICACIONES:

redactada con presencia de las mejores obras, y de los informes de los primeros artistas de los Estados-Unidos de América,

POR

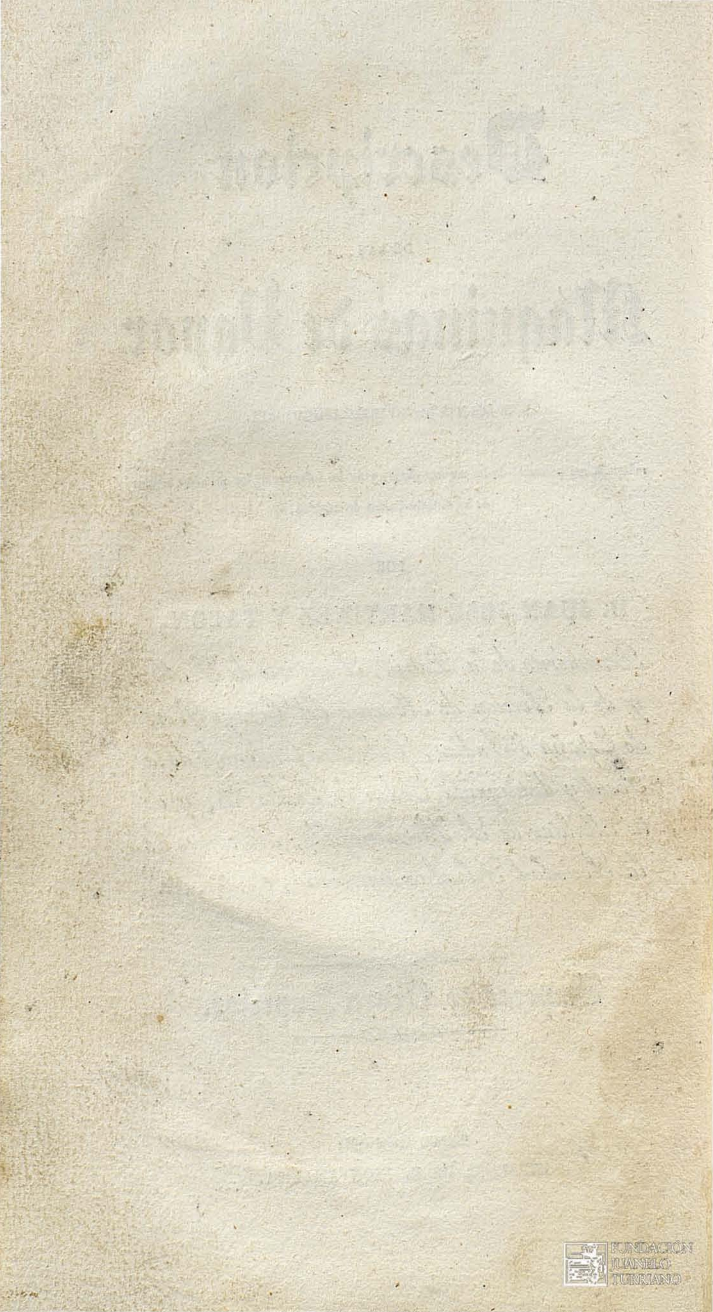
D. JUAN JOSÉ MARTINEZ Y TACON,

Benemérito de la Patria, Secretario de S. M. y de la Seccion de Marina del Consejo Real de España é Indias, Caballero pensionado de la Real y distinguida Orden de Carlos III, y de la Militar de S. Hermenegildo, Miembro de la Sociedad Filosófica americana, &c. &c. &c.

Impreso de Orden Superior.

MADRID Agosto 1835:

IMPRENTA DE D. LEON AMARITA.


FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

ADVERTENCIA.

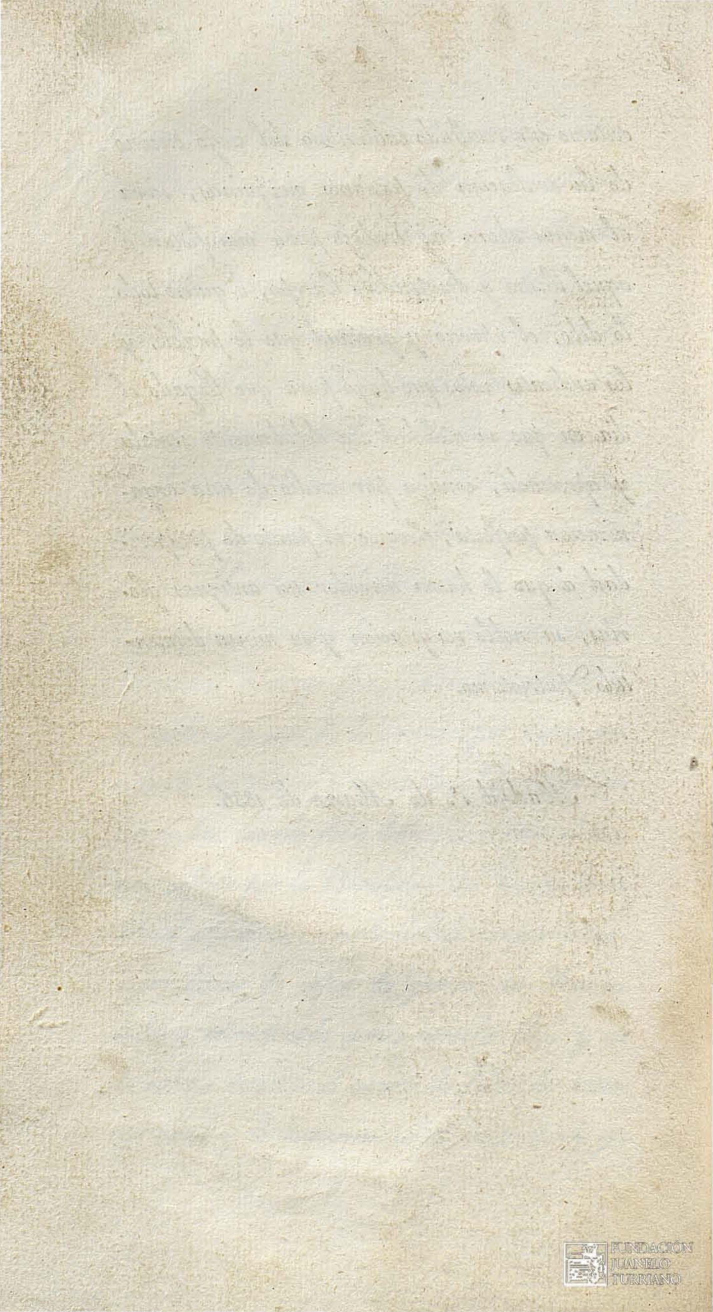
El presente Tratado fué escrito en el verano de 1831 en los Estados Unidos de América, donde me hallaba en consecuencia de haber sido elegido por el dignísimo General D. Angel Laborde, á cuyas órdenes servia, para hacer construir un ponton de vapor destinado á limpiar el Puerto de la Habana. No teniendo yo entonces conocimiento de una materia que ha llegado á ser de la mas alta importancia para las artes, la navegacion y el comercio, me propuse redactar todas las nociones que de ella fuera adquiriendo, con el objeto de poderlas comunicar á mis dignos compañeros, á quienes presentia habia de ser prontamente necesario conocer el mecanismo y la aplicacion del vapor á las operaciones de la guerra marítima; y al efecto remití el manuscrito, apenas estuvo concluido, en Diciem-

bre del mismo año, por el conducto correspondiente. Pero siendo yo entonces víctima de enconada é injusta persecucion del Gobierno de aquella desgraciada época, fue desatendido mi trabajo y condenado al olvido, como acostumbraba hacer el tribunal del Santo Oficio, IN ODIUM AUCTORIS, con muchas obras de utilidad conocida.

Enterado posteriormente del hecho, en Junio último, el Escmo. Sr. D. José Vazquez Figueroa, Secretario del Despacho de Marina, dispuso se imprimiese la Obra por cuenta de la Direccion Hidrográfica, habiéndose retardado su publicacion mas de lo necesario por varios incidentes imprevistos é inevitables. De haber salido á luz cuando debia habríase evitado el desaire sufrido por la Oficialidad del Cuerpo de la Real Armada, considerándola incapaz de manejar barcos de vapor de guerra; la Nacion hubiera economizado sumas considerables, y no se habria resentido el servicio de faltas de homogeneidad y de armonia. Mas no pudiendo ya

evitarse este resultado calamitoso del ciego encono de la exaltacion de pasiones mezquinas, sirva al menos ahora mi trabajo para manifestar á aquel ilustre y desatendido Cuerpo, á quien todo lo debo, el aprecio y gratitud que le profeso, y los ardientes votos que hago para que llegado el dia en que su utilidad sea debidamente sentida y apreciada, consiga por medio de una organizacion perfecta, elevarse al punto de prosperidad á que le hacen acreedor sus antiguas glorias, su noble resignacion y su nunca desmentido patriotismo.

Madrid 1º. de Marzo de 1836.



ÍNDICE

DE LAS MATERIAS CONTENIDAS EN LOS CAPITULOS DE ESTE ENSAYO.



Capítulo I.

Principios físicos y mecánicos aplicables á la construccion de las máquinas de vapor.

Division de las sustancias materiales. —Fuerzas que determinan el estado en que existen.— Formas que todos los cuerpos son capaces de tomar.— Diferencia en el modo con que obran los sólidos y líquidos.— Fuerzas y movimiento.—Centros de gravedad, inercia, percusion, oscilacion y giracion.—Movimientos que producen algunos agentes naturales y partes de las máquinas.—Propiedades mecánicas de los fluidos.—Gravedades específicas.—Presion de la atmósfera y barómetro.—Calórico y sus efectos.—Termómetro.—Espansion de los cuerpos por la accion del calórico.—Calor específico.—Calor latente.—Evaporacion.—Radiacion del calor.—Poder conductor de los cuerpos.—Forma en que los líquidos absorven el calor.—Efecto enfriador de los gases.—Distribucion del calor por entre todas las partículas de un cuerpo sólido.

1. Las sustancias materiales que conocemos son sólidas ó líquidas.

2. Los fluidos estan tambien divididos en dos clases, á saber, los que no pueden comprimirse, y los elásticos; los primeros se llaman *líquidos*, y los segundos *fluidos aeriformes*.

3. Estos últimos son susceptibles de condensarse prontamente en forma líquida, y entonces se llaman *vapor*, ó

pueden solamente reducirse á aquella forma con gran dificultad, resistiéndose en muchos casos á todos los medios mecánicos ó físicos empleados hasta ahora para el objeto; en cuyo caso se llaman *gases* ó *cuerpos elásticos permanentes*.

4. Puede darse á estos mismos por medio de combinaciones químicas la forma líquida ó sólida; y hay muy pocos que segun los últimos esperimentos, no se hayan convertido en líquidos por medio de presiones de mayor ó menor intension (1).

5. Aunque todos los gases, segun se acaba de decir, han llegado á poderse condensar, conviene tener siempre presente la diferencia que hay entre estos y los vapores, porque es enteramente diversa la forma en que se aplican en la práctica de la mecánica.

6. Las dos fuerzas grandes y opuestas que hay que considerar al tiempo de determinar en cuál de estos estados mecánicos puede existir un cuerpo, son la *atraccion* y el *calor*. A la especie de atraccion que se verifica entre las partículas de un mismo cuerpo, ya sea simple ó compuesto, en su especie ó género químico, se ha dado el nombre de *atraccion de agregacion*. Cuando la intension de las fuerzas atractivas que ejercen mútuamente todas las partículas de un cuerpo es mayor que la accion del calor para separarlas, el cuerpo existe en estado sólido; si ambas fuerzas de atraccion y calor se equilibran exactamente, el cuerpo se convierte en líquido; y cuando predomina la fuerza repulsiva del calor, pasa el cuerpo al estado de fluido elástico.

---

(1) En las Transacciones filosóficas de la Sociedad Real de Londres, y en los Anales de filosofia pueden verse las esperiencias y los descubrimientos de los Sres. Faraday y H. Davy sobre la liquefaccion de los gases, asi como las importantísimas aplicaciones que deben hacerse para reemplazar las máquinas de vapor. Los primeros cuadernos de los *Annales de Physique et de Chimie* de 1824 contienen un estracto de estos trabajos.



7. Conocemos sin embargo líquidos imperfectos, en los que queda mayor ó menor preponderancia de la atraccion de agregacion, que se manifiesta por la propension que tienen, cuando se dividen en pequeñas porciones, de formar masas esféricas ó gotas. Asi pues el movimiento de cada una de sus partículas entre todas las demas, encuentra una ligera resistencia, que se dice es debida á la viscosidad del fluido.

8. Puede establecerse como regla general que todos los cuerpos de la naturaleza son capaces de existir, cuando estan debidamente animados por el calor, en una de las tres formas mecánicas. Asi pues, si no nos es posible reducir los gases mas ligeros á forma sólida, podemos sin embargo hacerlos entrar en combinaciones químicas; mientras que todos ellos, asi como los sólidos, aun los mas refractarios, se derriten y volatilizan por el calor intenso del deflagrador galvánico, ó del soplete compuesto.

9. Los principios generales de mecánica se aplican igualmente á los sólidos que á los fluidos, pero se modifican en su accion ó modo de obrar segun la naturaleza peculiar de cada uno. Los cuerpos sólidos que tienen sus partículas fuertemente ligadas unas con otras, obran como si toda la materia que contienen estuviese reunida en un solo punto. Cuando el cuerpo gravita solamente por su propio peso, ó cuando el movimiento es rectilíneo, este punto es el *centro de gravedad ó de inercia:* si el cuerpo oscila sobre un punto fijo, aquel se llama *centro de oscilacion ó de percusion*; y cuando gira al rededor de un eje, *centro de rotacion.* Las propiedades de estos puntos, asi como los principios generales de movimiento, y las causas que los producen, deben tenerse siempre presentes al considerar la estructura de las máquinas de vapor, y de todas sus partes.

10. La causa que obliga á un cuerpo, de cualquier

naturaleza que sea, á ponerse en movimiento, se llama *fuerza* ó *potencia* (1).

11. Todo cuerpo se mueve en la direccion de la fuerza que se le aplica, con una cantidad de movimiento igual á la intension de la fuerza.

12. Todo cuerpo puesto en movimiento por una fuer-

---

(1) Los cinco elementos que entran en las leyes del movimiento son la fuerza motriz F, la masa M, el espacio E, el tiempo T, y la velocidad V.

La primera se aprecia multiplicando la masa del cuerpo por la velocidad que se le ha imprimido, cuyo producto se llama *cantidad de movimiento* C, de que resulta

$$C = MV.$$

La *masa* de un cuerpo es la cantidad de materia que lo compone: las masas M M' de los cuerpos son proporcionales á sus pesos P P', por tanto

$$\frac{M}{M'} = \frac{P}{P'}$$

La *velocidad* de un cuerpo es el espacio que recorre con uniformidad en un tiempo dado, sea el que fuere, tomado como unidad.

Cuando una misma fuerza obra sobre móviles diferentes, les imprime velocidades que estan en razon inversa de sus masas.

Las fuerzas motrices estan entre sí como las cantidades de movimiento que las producen.

Estas mismas fuerzas en masas iguales estan entre sí como las masas sobre que obran.

La *densidad* de un cuerpo ó su peso en volúmen dado, es igual á la razon que hay entre su peso y su volúmen; luego á volúmen igual, las densidades de los cuerpos son proporcionales á sus pesos: á pesos iguales las densidades estan en razon inversa de los volúmenes.

En general las densidades estan como la razon directa de los pesos multiplicada por la razon inversa de los volúmenes.

El *peso* de un cuerpo es igual á su volúmen multiplicado por la densidad.

El *volúmen* de un cuerpo es igual á su peso dividido por su densidad.

El movimiento de los cuerpos puede ser *uniforme*, *acelerado* ó *retardado*.

El primero es el de un punto material que recorre espacios iguales en tiempos iguales, y entonces se tiene la relacion de

$$E = VT.$$

Los movimientos uniformemente acelerados ó retardados son aque-

za, y abandonado á sí mismo, continuaria moviéndose hácia adelante uniformemente y en línea recta, si su direccion y la intension del movimiento no fuesen alteradas por la accion de otras fuerzas. Cerca de la superficie de la tierra, la friccion con otros cuerpos, y la resistencia del aire obran continuamente retardando y destruyendo

---

llos que aumentan ó disminuyen por grados iguales, ó aquellos en que los espacios recorridos crecen ó menguan la misma cantidad cada instante sucesivo.

Las relaciones siguientes se aplican á todos los casos del movimiento uniformemente acelerado por la accion de una fuerza constante f; g indica la gravedad, de que se dará el valor en seguida; t el tiempo trascurrido desde la partida del móvil; v la velocidad que ha adquirido despues del tiempo t, y e el espacio que ha recorrido en el mismo tiempo.

$$e=\tfrac{1}{2}t\,v=g\,f\,t^2=\frac{2gf}{v^2}$$

$$v=\frac{2e}{t}=g\,f\,t=\sqrt{2gfe}$$

$$t=\frac{2e}{v}=\frac{v}{gf}=\sqrt{\frac{e}{\frac{1}{2}gf}}$$

$$f=\frac{v}{g\,t}=\frac{2e}{g\,t^2}=\frac{v^2}{2ge}$$

En movimientos de esta especie basta conocer la razon en que está la fuerza f con la gravedad para calcular despues el espacio, el tiempo ó la velocidad; y recíprocamente conociendo el espacio recorrido en un tiempo dado, ó la velocidad adquirida al fin de este tiempo, se hallan los valores de f.

Cuando la gravedad obra libremente, como p. ej. cuando un cuerpo cae siguiendo la vertical en el vacío, las relaciones son

$$e=\tfrac{1}{2}g\,t^2=\frac{v^2}{2g}=\tfrac{1}{2}t\,v.$$

$$v=g\,t=\frac{2e}{t}=\sqrt{2ge}.$$

$$t=\frac{v}{g}=\frac{2e}{v}=\sqrt{\frac{2e}{g}}=\sqrt{\frac{e}{\frac{1}{2}g}}$$

$$g=\frac{v}{t}=\frac{2e}{t^2}=\frac{v^2}{2e}$$

g, ó lo que se llama *gravedad*, representa las velocidades que la fuerza aceleratriz imprime al móvil durante la unidad de tiempo.



al fin el movimiento de los cuerpos; y la atraccion á su centro tiende constantemente á cambiar la direccion del impulso primitivo, obligando al cuerpo á caer sobre la superficie dicha.

13. Cuando un cuerpo es puesto en movimiento por una fuerza que obra constantemente debe recorrer una línea recta; pero los espacios recorridos en intervalos iguales deben aumentar gradualmente. Si la fuerza obra con igual intension estando aquel parado ó en movimiento, éste se acelera uniformemente, y se dice que la fuerza es *constante*. Todas las fuerzas que obran continuamente, sean ó no constantes, se llaman *fuerzas aceleradoras*.

14. Cuando sobre un cuerpo obra mas de una fuerza en un mismo instante, la direcccion é intension del movimiento dependerá de la combinacion de ambas; y puede concebirse que es el efecto de una sola fuerza cuya direccion é intension correspondiera con el movimiento impreso al cuerpo. Esta misma fuerza producida por la reunion de ambas se llama *resultante*, y las otras dos *componentes*.

15. La resultante de dos fuerzas que obran en la misma línea recta es igual á la suma de ambas, y á su diferencia si tienen direcciones opuestas en la misma línea recta: generalmente la resultante de cualquier número de fuerzas que obran en la misma línea recta es igual á su suma algebráica, indicándose la diferencia de direccion por los signos positivo ó negativo.

16. La resultante de dos fuerzas cuyas direcciones son inclinadas y que se unen en un punto, se representan, tanto en magnitud como en direccion, por la diagonal de un paralelogramo cuyos lados indican la direccion y la magnitud de las fuerzas. La resultante de tres fuerzas se halla determinando primero la de dos, y combinándola despues con la tercera. Hallada asi esta resultante de tres



fuerzas puede hallarse la de cuatro, combinando la cuarta con aquella, y del mismo modo se procederá para hallar la de mayor número.

17. Cuando en una máquina obra una fuerza oblicuamente, el efecto positivo que produce es igual al que produciria un componente de la fuerza en la línea de accion directa; la fuerza del otro componente se pierde, de forma que el efecto mecánico producido por aquella se disminuye ó limita. Este defecto es aun mas perjudicial que la pérdida de fuerza, porque obrando la totalidad de ésta descompuesta sobre la máquina segun la última direccion, el efecto que produce generalmente es el de dislocar todas sus partes.

18. El movimiento es susceptible de ser descompuesto del mismo modo que las fuerzas, y el cálculo en este caso puede estenderse tanto como el de las fuerzas que obran en todo el discurso del movimiento del cuerpo.

19. El movimiento producido por la combinacion de dos movimientos oblicuos se representa por la diagonal del paralelogramo, cuyos lados indican la magnitud y la direccion de las fuerzas; y la intension del movimiento se manifiesta por el tamaño de la diagonal.

20. Cuando dos fuerzas oblicuas obran simultáneamente, una de ellas abandona al cuerpo, produciendo asi un movimiento uniforme, mientras la otra continua obrando durante toda la duracion; y es facil considerar el movimiento dividido en gran número de partes infinitesimales, en el discurso de cada una de las cuales, asi éste como la direccion son constantes, y el cuerpo tendria por tanto tendencia á dirigirse en línea recta hasta el fin de cada uno de los pequeños intervalos en que se verifican las pequeñas porciones del movimiento; pero en el espacio infinitesimal en que lo verifica se desvia de aquella direccion por el impulso de la fuerza activa, siguiendo la de la diagonal

de un paralelogramo. De esta causa resulta la formacion de un polígono, cuyos lados son tan sumamente pequeños que coinciden con una curva, y de la combinacion que asi se verifica de dos movimientos oblícuos uno á otro, de los cuales el uno es uniforme y el otro acelerado, resulta el movimiento curvilíneo.

21. Cuando obran dos fuerzas aceleradoras con igual aceleracion, el movimiento es rectilíneo; pero si es desigual, éste es curvilíneo.

22. Cuando dos fuerzas paralelas obran sobre un cuerpo, la resultante divide la línea que une los puntos á que se aplican ambas en partes que estan en razon inversa de la intension de aquellas, siendo ésta igual á la suma de las dos. La resultante de tres fuerzas semejantes se halla tomando primero la de dos y combinándola con la tercera: ésta puede tambien combinarse con la cuarta, y asi sucesivamente.

23. La resultante de cualquier número de fuerzas paralelas conserva la misma intension y pasa por el mismo punto, sea cual sea la direccion de aquellas. Cuando el cuerpo se mueve hácia adelante en línea recta impelido por otra fuerza que no sea la gravedad, aquel se llama *centro de inercia*; y si ésta es la que lo mueve, se le da el nombre de *centro de gravedad.*

24. Por gravedad ó *atraccion de la gravitacion* se entiende aquella fuerza que obliga á todos los cuerpos á descender hácia el centro de la tierra en direccion perpendicular á su superficie; aunque ni las direcciones ni las fuerzas son matemáticamente paralelas en distintos parages del globo, ni iguales á diferentes distancias de éste; pero la convergencia de las líneas es tan pequeña, y la variacion tan despreciable, que no resulta error sensible de considerar que sobre cada partícula del cuerpo obra una fuerza igual y paralela á la que lo ejecuta sobre todas las demas.

La resultante de todas estas fuerzas es lo que se llama *peso del cuerpo*, y el lugar de su accion, *centro de gravedad.*

25. Cuando el centro de gravedad está sostenido lo está tambien el cuerpo; en caso contrario caerá éste hasta que aquel llegue al punto mas bajo posible, y la fuerza sostenedora puede aplicarse al centro de gravedad, ú obrar en puntos colocados verticalmente encima ó debajo de éste. En el primer caso la posicion del cuerpo es indiferente y permanecerá quieto, sin embargo de estar colocado alrededor del punto de apoyo, siempre que éste esté verticalmente sobre el centro de gravedad; y en el tercer caso, si el cuerpo se mueve oscilará hasta quedar en la posicion que antes tenia.

26. El centro de gravedad de una línea recta está en su mediania.

27. El de un cilindro ó huso de figura simétrica divide al eje en dos partes iguales.

28. El de un círculo ó esfera se halla en el centro.

29. El de un triángulo está en la línea que une el vértice superior con el punto medio de la base, y á distancia de las dos terceras partes de esta línea, contando desde aquel vértice.

30. El centro de gravedad de un cuadrilátero se halla dividiéndolo en dos triángulos, y determinando el de cada uno de ellos; se unen estos despues por una línea recta, en la que estará el centro comun en un punto que le divide en dos partes, que estan en razon inversa del tamaño de los triángulos.

31. El de un pentágono se halla por igual método dividiéndolo en tres triángulos; y del mismo modo se procede con todos los demas polígonos.

32. El de una pirámide triangular está en la línea que une el vértice con el centro de gravedad de la base, en

un punto que dista las tres cuartas partes del largo de aquella, contando desde éste.

33. El de cualquier sólido terminado por superficies planas se halla dividiéndolo en pirámides triangulares y determinando el comun de todas estas.

34. El de un cono sólido está en el mismo punto que el de las pirámides triangulares (art. 32), pero el centro de gravedad de la superficie de un cono dista solo las dos terceras partes de línea que une su vértice con el de la base, y está en ella.

35. Los de las elipses y elipsoides coinciden con sus centros matemáticos.

36. Cuando un cuerpo está unido á un punto fijo sobre el que oscila, la accion no continua siendo la misma que seria si la totalidad de la materia estuviese reunida en el centro de gravedad: el punto en el que continuaria siendo aquella igual á la que seria si toda la materia estuviese reunida, que está situado mas allá del de la suspension, es lo que se llama *centro de oscilacion.*

37. El centro de oscilacion de una línea recta dista dos tercios de su largo, contando desde el punto de suspension.

38. El de un triángulo á las tres cuartas partes de su altura desde el vértice.

39. El de un cono recto está en el centro de la base.

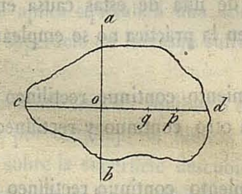
40. Por *centro de percusion* se entiende el punto del cuerpo que choca, por el cual la totalidad del movimiento se comunicaria al cuerpo chocado.

41. Cuando el cuerpo que choca se mueve alrededor de un punto fijo, los centros de oscilacion y de percusion estan en el mismo punto.

42. Se dá el nombre de *péndulo* á un cuerpo suspendido de un punto fijo que se mueve por la accion de la gravedad.

43. Por *centro de giracion* se entiende el punto del cuerpo que se revuelve, en el que si toda la materia estuviese reunida, la cantidad de movimiento de rotacion seria igual á la que era entonces (1).

(1) Siempre que un cuerpo recibe un impulso en direccion perpendicular á su eje y que no pasa por este, resulta movimiento de rotacion, cuya velocidad depende de la fuerza del impulso, de la distancia de la direccion del impulso al eje, y del modo en que la masa del cuerpo está repartida al rededor del eje. Debe tenerse presente que la totalidad de la fuerza del impulso se distribuye entre las diversas partes de la masa, y se trasmite á estas desde el punto de aplicacion del impulso por consecuencia de la cohesion y tenacidad de las partes, y de la imposibilidad de que una de estas ceda á una fuerza sin arrastrar consigo á todas las demas. La fuerza aplicada obra sobre las partículas inmediatas al eje con mas energia que en su propia direccion en circunstancias favorables, porque su poder para resistir el esfuerzo de esta fuerza aplicada disminuye con la distancia. Por otra parte tenemos que la fuerza aplicada obra sobre partículas de la masa á mayor distancia que su propia direccion en circunstancias proporcionalmente desventajosas, porque la resistencia á la fuerza aplicada aumenta con sus distancias al eje.



Supóngase que *c d* es la seccion de un cuerpo hecha por un plano que pasa por su eje *a b*, y que el impulso se aplica en el punto *p* perpendicular al plano, y á la distancia *p o* del eje. Distribuyéndose el impulso por toda la masa obligará al cuerpo á moverse sobre *a b* con velocidad uniforme; mas hay un punto *g* en el cual, si toda la masa estuviese concentrada, recibiria del impulso la misma velocidad alrededor del eje. La distancia *o g* se llama el *radio de giracion* del eje *a b*; y el punto *g* es el *centro de giracion* con respecto al mismo eje. El efecto del impulso sobre la masa concentrada en *g*, es mayor en la misma rigorosa proporcion que *o g* disminuye; de lo cual se deduce fácilmente que cuanto mayor sea su radio de giracion, menor será la velocidad que el cuerpo reciba de un impulso dado.

44. El centro de rotacion de una línea recta que se mueve alrededor del eje que pasa por uno de sus estremos, está en un punto cuya distancia á éste está en la razon de $1 : \sqrt{3}$.

45. La distancia que hay del centro de rotacion de un círculo ó sector circular al de curvidad en sus radios, como $1 : \sqrt{2}$.

46. Los movimientos que observamos en las partes de las máquinas y en los grandes agentes naturales que se emplean para darles movimiento, son rectilíneos ó de rotacion; los primeros pueden ser continuos ó recíprocos, y los segundos pueden, de semejante manera, ser continuos ó recíprocos, oscilando los puntos que se mueven dentro de determinados límites.

47. Con estas cuatro especies de movimiento tomadas de dos en dos, es posible hacer diez combinaciones, que pueden verificarse en los cambios que hacen las máquinas del movimiento original del primer movil, ó del que una parte de una de estas causa en el movimiento de otra; pero en la práctica no se emplean mas que ocho, á saber:

a. El movimiento continuo rectilíneo se convierte algunas veces en otro continuo y rectilíneo, en direccion opuesta.

b. El movimiento continuo rectilíneo se convierte algunas veces en continuo de rotacion, ó en

c. Movimiento de rotacion recíproco.

d. El movimiento circular continuo se convierte algunas veces en alternado rectilíneo.

e. El movimiento circular continuo se convierte algunas veces en otro igual en direccion opuesta, ó en

f. Movimiento recíproco circular.

g. El movimiento recíproco rectilíneo se cambia en recíproco circular algunas veces.



h. El movimiento recíproco circular se cambia en otro igual, pero en direccion opuesta.

48. Como las partículas de que se componen los fluidos carecen de atraccion de agregacion sensible, obran sin dependencia unas de otras, por cuya causa no es posible referir el movimiento de sus masas á ninguno de los centros que se han indicado, pues cada una de aquellas se mueve libremente bajo los impulsos que recibe, ya sea obrando inmediatamente sobre ella, ó por la intervencion de las que la rodean.

49. Los fluidos trasmiten en esta forma cualquier fuerza que se aplica á una de sus superficies, con igualdad y en todas direcciones; y si se comprime una parte de la de un fluido encerrado en una vasija por medio de un émbolo que penetre por uno de los lados de ésta, la presion que esperimentan todas las demas superficies de la vasija será igual en iguales superficies, á la que obra sobre aquel: por tanto si el émbolo es de una pulgada cuadrada, y la potencia que se le aplica equivale á una libra, cada pulgada cuadrada de superficie de la vasija sufrirá la presion de una libra.

50. Cuando un fluido está en equilibrio dentro de una vasija descubierta, por el influjo de fuerzas heterogéneas, deben estas obrar sobre la superficie descubierta de aquel; y cuando ésta fuerza es la de la gravedad la superficie deberá ser horizontal ó perpendicular á la direccion de aquella. En las vasijas pequeñas la superficie del fluido contenido puede suponerse horizontal, puesto que se considera que las fuerzas obran en líneas paralelas (art. 24); pero en las grandes masas de fluidos que gravitan como el océano y los lagos, toman éstas la figura de la superficie de la tierra.

51. Toda línea tirada sobre una superficie plana, ó que le es paralela, se llama *línea de nivel*, ó *nivel* simplemente.

52. Siempre que se coloca un fluido dentro de un tubo doblado, ó en vasijas que comunican por su fondo, se eleva en los dos brazos de aquel y en todas estas al mismo nivel; y cuando se introduce un tubo en una vasija cerrada, la presion en las paredes de ésta será proporcional á las superficies y á la altura del fluido en el tubo. Si se comprime éste por alguna fuerza esterna, su accion se trasmitirá á las paredes interiores de la vasija, y la totalidad de la presion sobre éstas será tanto mayor que la que esperimenta el fluido en el tubo, como la superficie de la vasija es mayor que el area ó calibre de aquel. Este principio se ha aplicado á la construccion de un instrumento en el que una potencia pequeña, que obra por la intervencion de un líquido, llega á ser capaz de producir una presion de grande intension, y se conoce con el nombre de *prensa hidráulica* ó de *Bramah*, que fué el inventor.

53. La presion de un fluido que gravita sobre una base horizontal no está en proporcion con la masa de su cuerpo, como sucede en los sólidos, sino á la superficie y á la altura del nivel de ésta sobre la base; y su medida es igual al peso de un paralelepipedo del mismo fluido, cuya base tiene la misma area que la de la vasija, y cuya altura es igual á la del fluido; y será siempre la misma, sea cual fuere la capacidad ó figura de la vasija, con tal que el area de su fondo y la altura del líquido sean constantes.

54. Cuando las superficies no son horizontales, la medida de la presion del fluido que gravita es igual al peso de un paralelepipedo de éste, cuya base tiene la misma area que la superficie comprimida, y cuya altura es igual á la del centro de gravedad de ésta, por debajo del nivel del fluido.

55. Aunque la presion sobre una superficie dada depende de la posicion de su centro de gravedad, no es

éste sin embargo el punto á que se aplica la resultante de la presion hydrostática. Este último punto que se llama *centro de presion*, coincide con el que deberia ser el centro de oscilacion de la superficie; por tanto en el cálculo de la fortaleza que deben tener las paredes de las vasijas ó las de los depósitos que contienen masas de fluidos, la resultante de las resistencias que oponen debe pasar por este punto, y ser igual, cuando menos, á la presion hydrostática del fluido.

56. Cuando se coloca dentro de un fluido un cuerpo cuyo peso es menor que el de una masa igual de aquel, se eleva y flota sobre la superficie, siendo el de la parte sumergida igual al de la cantidad de agua que ocupa ó desplaza.

57. En general siempre que se coloca cualquier cuerpo sólido dentro de un fluido, si aquel es mas ligero que éste se eleva sobre su superficie, y en caso contrario se sumerge; siendo la fuerza que lo obliga á flotar ó irse á pique, igual á la diferencia que hay entre su propio peso y el de una masa del mismo volúmen del fluido; por consiguiente todo cuerpo que gravita sobre un fluido pierde una cantidad de peso igual al de una masa de éste del mismo volúmen.

58. Como las partículas de que se componen los fluidos se mueven con independencia unas de otras (art. 48.), saldrán por un orificio abierto en el fondo ó paredes de la vasija que los contiene con la velocidad de descenso que adquiriria un cuerpo que bajase desde la superficie del fluido al nivel del orificio, siendo la seccion de la corriente igual al area de éste, y del mismo tamaño en todas sus partes. Pero por consecuencia de la accion recíproca de las partículas, la corriente al tiempo de pasar por un orificio abierto en una plancha delgada, no continua siendo igual al area de éste: al principio sufre una contrac-



cion, y cuando el orificio es circular, el parage donde se efectua el máximo de esta dista de la vasija una cantidad igual al radio de aquel. La figura del caño es la de un cono truncado, cuya base mayor es el area del orificio, y la menor está con ésta en la razon de 5 : 8. Las aberturas hechas en vasijas de paredes mas gruesas dan salida á mayor cantidad de fluido; y la diversa forma de los tubos aumenta ó disminuye la razon indicada (1).

59. La cantidad de agua que sale en la forma dicha se mide multiplicando la velocidad del caño por el area de la base menor del cono truncado, que es lo que se llama *vena contracta*.

60. El peso comparativo de iguales masas de distintos cuerpos se llama *densidad*. Esta comparacion se hace generalmente por medio de un cuerpo convencional, cuya densidad es la unidad á que se refieren las de los demas.

---

(1) Si se abre un orificio en las paredes de una vasija llena de agua, el fluido saldrá con una velocidad v igual á la que adquiriria un cuerpo cayendo libremente desde la altura h comprendida entre el orificio y el nivel del agua contenida; de que resulta

$v = 4.^m \sqrt{h}$, haciendo abstraccion de la resistencia del aire.

Siendo S el area del orificio, Q el volúmen ó cantidad de agua que sale en un segundo, que es lo que se llama *el gasto*, se tiene

$$Q = Sv = 4.^m 43\ S \sqrt{h} \text{ metros cúbicos.}$$

Si el orificio es circular, y su diámetro d, será

$$S = 0'785\ d^2\text{, y}$$
$$Q = 3'48\ d^2 \sqrt{h} \text{ metros cúbicos.}$$

Este es el gasto teórico, pero el práctico es menor puesto que la *vena fluida* se contrae al salir, resultando una disminucion en el producto de la salida; y la esperiencia demuestra que siendo D el gasto teórico, que sabemos ya hallar, tendremos que $D \times 0'62$ es el gasto verdadero, si el orificio está abierto en una pared delgada; $D \times 0'82$ es el que se verifica cuando el agua sale por un pequeño tubo cilíndrico; y $D \times 0'9$ si el tubo es cónico. Estas cantidades 0'62, 0'82, 0'9 son los coeficientes de las contracciones de la vena fluida: designando este coeficiente por m, para tener una espresion mas general, y siendo Q ahora el gasto efectivo, tendremos

$$Q = mSv = 3'43\ d^2\ m \sqrt{h}.$$



Las densidades calculadas por este método se llaman las *gravedades específicas de los cuerpos*, y el que se emplea como unidad en casi todos los casos es el agua.

61. Al tiempo de hacer este cálculo es necesario tener presente, no solo que el agua sea pura, sino que como todos los cuerpos tienen la propiedad de variar de densidad con las variaciones de temperatura, es indispensable fijar la que debe haber cuando se hacen los esperimentos, siendo la mejor de todas para este objeto, por razones que se esplicarán mas adelante, la de 38 á 40 grados del termómetro de Fahrenheit.

62. Para determinar las gravedades específicas se hace uso del principio (art. 57) de que todo cuerpo pierde en el agua una cantidad de peso equivalente al de igual masa de agua; por tanto si se pesa el cuerpo en el aire, y despues en el agua, la diferencia de pesos será el de una masa igual de agua; y siendo ésta la unidad es evidente que partiendo el peso en el aire por la disminucion de peso, dará el cuociente la gravedad específica del cuerpo con que se opere.

63. El instrumento que sirve para determinar por este método las gravedades específicas, se llama *balanza hydrostática*, y difiere de las comunes solo en un aparato, que se agrega á éstas, aparente para poder determinar el peso del agua.

64. Se hace necesario muchas veces determinar la gravedad específica de cuerpos mas ligeros que el agua: para conseguirlo se pesan primero en el aire, y luego se unen á otro cuerpo capaz de hacerlos sumergir; cuyo peso en el aire y en el agua es conocido: el dividendo es entonces el peso del cuerpo ligero, como en el caso anterior; el divisor la diferencia que hay entre la disminucion de peso del cuerpo pesado auxiliar y la de los dos unidos, y el cuociente la gravedad específica.

3

65. Las mas usuales en la construccion de las máquinas de vapor son las siguientes:

Agua en su densidad máxima.....	1.000.
Mercurio......................	13.568.
Plomo.........................	11.352.
Cobre fundido.................	8.788.
—— pasado por cilindro.........	8.878.
Hierro colado.................	7.207.
—— batido.....................	7.788.
Bronce fundido................	8.396.
—— pasado por cilindro........	8.544.
Acero duro....................	7.816.
—— blando.....................	7.833.
Estaño........................	7.291.
Zinc..........................	7.190.
Agua del mar..................	1.026.
Roble seco....................	0.932.
Pino de tea...................	0.657.
—— blanco.....................	0.596.

66. Cuando dos fluidos de distintas densidades gravitan uno sobre otro en los brazos opuestos de un tubo doblado, la altura á que se mantendrá cada uno en el suyo sobre el nivel ordinario, estará en razon inversa de sus densidades respectivas.

67. Bajo éste principio se puede determinar la presion de la masa de fluido elástico que rodea á la tierra, y que se llama *atmósfera*. Si se coloca un émbolo dentro de un tubo de cristal de cerca de tres pies de largo, de forma que no dé paso al aire, y se sumerge el estremo inferior en una vasija llena de mercurio, manteniéndolo en posicion vertical, éste seguirá al émbolo en su ascenso, obligado por la presion atmosférica, hasta que llegue á la altura de 30 pgs. poco mas ó menos; y entonces queda un vacío en el tubo que ocupa todo el espacio que hay en-

tre la superficie del mercurio y la inferior del émbolo.

68. Tambien se hace esta esperiencia llenando de mercurio un tubo de cristal abierto por uno de sus estremos, que se tapa con el dedo; se invierte y se sumerge en la vasija llena de aquel: el que contiene el tubo se mantendrá quieto en él, si es menor de 30 pgs.; pero si es de mayor largo y se sostiene verticalmente, bajará á buscar este nivel, poco mas ó menos, sobre la superficie del mercurio contenido en la vasija.

69. Esta altura de 30 pgs. no es constante, y varía en el mismo parage por consecuencia de las alteraciones que ocurren constantemente en la presion atmosférica. Tambien varía en distintos lugares, segun su distinta elevacion sobre el nivel del mar, indicando siempre el peso de columnas de aire de igual diámetro, y de la altura de la atmósfera, cuya presion media en el nivel de la mar es siempre de 30 pgs.

70. De lo dicho se infiere que la presion de ésta columna de mercurio de 1 pga. cuadrada de base, será igual al peso de 30 pgs. cúbicas de mercurio, que viene á ser quince libras, cantidad en que generalmente se aprecia la presion atmosférica sobre 1 pga. cuadrada de las superficies de los cuerpos que la esperimentan; y que, como producida por un fluido, se estiende igualmente en todas direcciones, siendo por tanto insensible sobre el cuerpo humano, á menos de no hacerla desaparecer de encima de una de sus partes, que se nota la diferencia por las que la rodean; y lejos de tener tendencia á comprimir á los cuerpos colocados en ella, obra mas bien la atmósfera sosteniéndolos, pues mantiene una parte de su peso igual al de una masa idéntica de aire atmosférico.

71. Si el tubo cerrado no está enteramente lleno de mercurio, queda dentro de él una cantidad de aire: cerrando este con el dedo, é invirtiéndolo, pasa el aire á

ocupar la parte superior y cerrada del tubo; y cuando la opuesta se sumerge en la vasija de mercurio, y se destapa, no estando aquel comprimido mas que por la presion atmosférica, se dilata, aumenta de volúmen, ocupando un espacio mayor, y obliga á salir del tubo á una parte del mercurio contenido.

72. Por consecuencia de una ley que afecta á todos los fluidos elásticos, los espacios que estos ocupan están en razon inversa de las presiones que esperimentan, y por consiguiente las densidades estan en razon directa de las presiones; por tanto, la diferencia que hay entre la altura que tiene el mercurio en un tubo que contiene aire, y la á que llega en el que no lo tiene, será la medida de la densidad del aire contenido; ó la de la presion de cualquier otro fluido elástico, separado por una columna de mercurio interpuesta entre él y la atmósfera.

73. La esperiencia hecha con un tubo lleno de mercurio invertido y sumergido su estremo abierto dentro de una vasija llena de este metal, por cuyo medio medimos la presion de la atmósfera, se debe á Torriceli, cuyo nombre conserva. Este tubo adaptado á un aparato conveniente para sostenerlo, y provisto de una escala dispuesta de forma que se pueda medir la altura del mercurio, es el instrumento conocido con el nombre de *barómetro*, á que se dan varias figuras, y que sirve para muchos usos importantes.

74. La misma potencia que obliga á elevarse á una columna de mercurio á la altura de 30 pgs., es igualmente capaz de levantar el agua á una elevacion, que es á la del mercurio, como la gravedad específica de éste es á la del agua, que viene á ser de unos 34 ps.: por consiguiente, si se consigue estraer por cualquier medio el aire de un tubo de 34 ps. de largo, formando en él el vacío, y se sumerge el estremo abierto en una masa de agua, ésta se elevará llenándolo enteramente; y si el va-



cío no es completo, subirá el agua hasta ocupar todo el espacio, menos el que ocupa el aire comprimido. Este es el principio en que está fundada la teoría de las bombas ordinarias, en las que el émbolo, provisto de una válvula que se abre hácia arriba, moviéndose dentro de un tubo que tiene otra válvula que abre hácia abajo con movimiento recíproco, absorve una cantidad de aire en cada golpe, que es reemplazada por otra igual de agua que pasa por la válvula del émbolo, y se eleva por el caño de la bomba.

75. Esta es tambien la causa que mantiene los fluidos en los sifones, en que corren con una fuerza dependiente de la diferencia de nivel de la superficie del fluido contenido en la vasija á que se aplica, y la del estremo opuesto del mismo sifon.

76. El aparato de Torriceli no solo sirve para medir la presion atmosférica, y la elasticidad de la materia gaseosa contenida en el tubo, sinó tambien para espresar la presion de cualquier fluido que no pueda mezclarse con el mercurio, sea ó no elástico: tampoco es necesario que el estremo abierto del tubo esté sumergido en la vasija que contiene aquel metal, pues si el tubo se dobla dándole la figura de un sifon, el fluido cuya presion debe medirse, obrará sobre el estremo abierto, y la medida de ésta será una columna de mercurio, cuya altura deberá ser igual á la diferencia del nivel de aquel fluido en los dos brazos del tubo.

77. Si los dos estremos de un tubo doblado estan abiertos, y se coloca de modo que uno de ellos comunique con la atmósfera, y el otro reciba la influencia de un fluido contenido en una vasija cerrada, la diferencia de niveles del mercurio será la medida del esceso ó defecto de la presion del fluido encerrado, superior ó inferior á la de la atmósfera.



78. El grande agente natural, que segun se ha dicho (art. 6.), obra oponiéndose á la atraccion de agregacion es el calor; y como no se tiene conocimiento exacto de su verdadera naturaleza, seria mas perjudicial que util para nuestro objeto el entrar en la consideracion de las distintas hipótesis que se han formado para demostrarla; pero como obra de un modo sensible sobre nuestros sentidos, y ejerce influencias de diversa especie sobre todos los cuerpos, puede que llegue el dia en que se conozcan sus propiedades, y determinen las leyes á que estan estas sujetas.

79. El primer efecto que produce el *calórico* (1) es el de dilatar los cuerpos que sufren su accion; siendo principio general que todos aumentan de volúmen cuando se calientan, y disminuyen cuando se enfrian; pero el modo y cantidad de su espansion y contraccion difiere segun la naturaleza mecánica é individual de ellos.

80 Cada una de las especies de cuerpos sólidos se dilata diversamente; y en todos los que se componen de una misma materia, la espansion es igual, con iguales aumentos de temperatura.

81. No solamente se dilatan los líquidos diversamente, sinó que uno mismo lo ejecuta de distinta manera con iguales aumentos de calor ó diferentes temperaturas: la espansion es menos rápida cuando la temperatura está inmediata á aquella en que el líquido se congela, y es mas veloz conforme se va acercando á la que necesita para entrar en ebulicion.

---

(1) *Calórico*: los químicos modernos han adoptado generalmente esta voz para designar *la causa del calor*. Cuando se dice que *una persona tiene calor*, que *una piedra está caliente*, se entiende facilmente ésta manera de esplicarse, aunque tiene en cada uno de los dos casos sentido diferente, espresando en el primero la *sensacion* del calor, y en el segundo la *causa* de ésta sensacion; y para evitar las equivocaciones que pudieran ocurrir tomando la sensacion por la causa, se llama á esta *calórico*.



82. En los fluidos elásticos, como gases y vapores, no solo es uniforme la espansion de cada uno en iguales variaciones de temperatura, sinó que la cantidad de la dilatacion es idéntica en todos ellos.

83. Se ha sacado partido de esta propiedad del calórico para construir instrumentos que marquen su intension, que se llaman *termómetros*. En el dia se componen generalmente de un pequeño tubo de cristal con una bola en un estremo, en que se coloca una porcion de mercurio; se calienta éste hasta que el mercurio llene enteramente el tubo, si se destina á los usos corrientes; pero si se desea que mida temperaturas mas altas, hasta que aquel esté enteramente ocupado con el vapor del metal, y entonces se cierra su estremo herméticamente. Cuando el mercurio se enfria, se contrae y baja dentro del tubo, dejando vacía la parte superior, ocupando distintos espacios segun la temperatura que tiene; y para que estos instrumentos sean capaces de comparacion unos con otros, es necesario establecer puntos fijos que puedan conseguirse facilmente en todas partes. Estos deben ser dos por lo menos, que se llaman generalmente de *congelacion* y de *ebulicion* del agua (1).

84. Es un hecho comprobado, segun se dirá mas adelante (art. 100), que el agua que corre del yelo derretido está en igual temperatura en todas las circunstancias posibles, y que la que hierve bajo iguales presiones atmosféricas es tambien constante; pero siendo necesario esta-

(1) Como el grado de temperatura de la ebulicion varía segun la mayor ó menor fuerza del agua, la materia de que está hecha la vasija que la contiene, y la presion atmosférica, es necesario usar de muchas precauciones para graduar los termómetros: no debe emplearse para determinar el punto de congelacion del agua que se yela, sino del yelo ó nieve que se derrite ó liquida; y para el de ebulicion se esponen los tubos al vapor de agua hirviendo, cuya temperatura es mas uniforme que la de aquella, siendo la presion de la atmósfera la que indica el barómetro á las 30 pgs.



blecer la presion á que debe verificarse la esperiencia, se ha convenido generalmente que ésta sea la medida que hay en el nivel del mar, que indica el barómetro á la altura de 30 pgs.

85. La escala mas comun de los termómetros es la de *Fahrenheit*, que tiene el núm. 32 enfrente del punto en que está el mercurio cuando se sumerge la bola en yelo al tiempo de derretirse, que se llama *punto de congelacion:* el espacio que hay entre este y el á que llega aquel cuando la bola está metida en agua hirviendo, y el barómetro en las mismas 30 pgs., se divide en 180 partes iguales, resultando por tanto que enfrente del *de la ebulicion* se coloca el núm. 212, igual á 180 + 32. El 0 está 32 divisiones ó grados debajo del punto de la congelacion, y como se ha observado que el mercurio es capaz de sufrir sin congelarse temperaturas todavia mas bajas, cuya propiedad puede servir para otras esperiencias, se estiende la escala el espacio que ocupan 40 divisiones entre el punto de congelacion y la bola. Estas se llaman *grados*, distinguiéndose los que estan encima del cero por el signo positivo y órden creciente, y los que estan debajo por el negativo y órden inverso.

86. En los termómetros llamados de *Reaumur*, el espacio entre los puntos de congelacion y ebulicion está dividido en 80 partes, correspondiendo cada grado á 2‘25 de Fahrenheit, y las temperaturas inferiores se indican con el signo —.

87. El termómetro centígrado, establecido en Francia cuando se adoptó el sistema decimal, tiene 100 divisiones ó grados entre los puntos dichos; y cada uno de ellos corresponde á 1‘8 de la escala de Fahrenheit.

88. Cuando se trata de medir temperaturas que no esceden á aquella en que hierve el mercurio, se estiende la escala hácia arriba, siguiendo el mismo sistema de divi-



siones iguales hasta cerca de 600 grados; y como el mercurio hierve á 575, y se congela á —40, la totalidad de la escala de Fahrenheit tiene 615 grados; la de Reaumur 274, y la del centígrado 342 (art. 85.) (1).

89. El mercurio está sujeto, lo mismo que otros fluidos, á la ley de la mínima espansion cerca del punto en que se congela, y de la máxima en el de la que hierve; por consiguiente las divisiones iguales de la escala de los termómetros no corresponde exactamente con iguales aumentos de temperatura; pero como la proporcion en que la dilatacion se verifica es casi uniforme en todas las temperaturas medias, y bajo tal concepto se han ejecutado casi todas las investigaciones filosóficas sobre la materia, es evidente que no debe resultar error considerable en la práctica de suponer los grados de la escala termométrica enteramente iguales en todas las temperaturas.

90. Con el auxilio de este instrumento ha sido facil hacer esperimentos sobre la espansion de distintas clases de cuerpos, siendo los resultados mas importantes relativamente al objeto de que tratamos, los que espresa la siguiente

Tabla de las dilataciones lineales de varios metales, por cada grado del termómetro de Fahrenheit, espresadas en decimales de línea, á la temperatura del yelo que se derrite.

Cobre..................	0'0000096.
Bronce.................	0'0000104.

(1) Indicando por *R*, *C*, *D* un número cualquiera de grados de Reaumur, centigrados ó de Fahrenheit, se convertirán siempre los unos á los otros por medio de las relaciones siguientes:

$$1\,(R)=\tfrac{10}{8}\,(C)=\tfrac{9}{4}(F).$$
$$1\,(C)=\tfrac{8}{10}\,(R)=\tfrac{9}{5}\,(F).$$
$$1\,(F)=\tfrac{5}{9}(C)=\tfrac{4}{9}\,(R).$$

Hierro batido............	0'0000068.
—— colado...............	0'0000061.
Acero blando............	0'0000059.
—— templado............	0'0000069.
Plomo.....................	0'0000158.
Estaño....................	0'0000121.

91. La espansion cúbica de estos cuerpos puede deducirse de la tabla precedente, porque es un hecho demostrado por la teoría y la práctica, que la fraccion que representa la dilatacion del volúmen de un cuerpo cualquiera es tres veces exactamente mayor que la que representa la lineal: en el primer caso la unidad es la solidez, y en el segundo la longitud (1).

(1) La dilatacion es *linear*, *superficial* ó *cúbica*, segun se trata de considerar la longitud, la superficie ó el volúmen del cuerpo que la esperimenta; así pues si δ es la primera, D la segunda y Δ la tercera, tendremos las relaciones aproximadas siguientes:

$$\Delta = 3\,\delta. \qquad D = 2\,\delta.$$

En un mismo sólido la dilatacion linear parece ser proporcional al número de grados del termómetro desde 0 á 100, y esta dilatacion varía segun los cuerpos que la esperimentan: los Sres. Laplace y Lavoisier han dado una tabla de las de los cuerpos que se usan en las artes.

Si δ es la dilatacion linear del cuerpo por cada uno de los grados del termómetro centígrado, ó lo que es lo mismo $\frac{1}{100}$ del número de la tabla, usando de éste, ó $\frac{1}{80}$ si del de Reaumur, ó $\frac{1}{180}$ si del de Fahrenheit,

t, el número de grados,
l, la longitud á cero,
l', la del cuerpo dilatado,
S, la superficie á cero,
S', la superficie del cuerpo dilatado,
V, el volúmen á cero,
V', el volúmen despues de la dilatacion;

tendremos con la exactitud suficiente para la práctica,

$$V' = V(1 \pm 3\,\delta\,t)$$
$$S' = S(1 \pm 2\,\delta\,t)$$
$$l' = (1 \pm \delta\,t)$$

Se hace uso del signo $\left\{\begin{matrix}\text{superior}\\\text{inferior}\end{matrix}\right\}$ segun hay $\left\{\begin{matrix}\text{aumento}\\\text{disminucion}\end{matrix}\right\}$ de calor.

Estas fórmulas exigen el conocimiento de las dimensiones á cero;

92. La dilatacion total del agua entre los puntos de congelacion y de ebulicion es de.... $\frac{1}{22}$.

La del alcohol............. $\frac{1}{9}$.

La del mercurio.......... $\frac{1}{56}$.

93. Dentro de estos límites la espansion del mercurio puede suponerse uniforme. Si se unieran dos de los cuerpos que acabamos de indicar dentro de un tubo de cristal, el efecto reunido de la dilatacion de ambos produciria una uniformidad absoluta. El agua no solamente tiene la propiedad de dilatarse desigualmente, segun varía la temperatura, sinó que está tambien sujeta á notables anomalías. Cuando se toma segun sale del yelo que se derrite, en vez de dilatarse por la primera aplicacion del calor se contrae; dura esta contraccion hasta que llega á la temperatura de 38 grados, y su volúmen no tiene alteracion sensible hasta los 40. De este límite para arriba empieza á dilatarse en progresion ascendente hasta que hierve; por tanto tiene su densidad máxima á la temperatura de 38 á 40 grados; y como éste es un estado fisico que puede determinarse sin el auxilio del termómetro, es por tanto mas conveniente servirse de él como unidad para determinar las gravedades específicas.

94. Las densidades del agua en diversas temperaturas son las siguientes:

---

pero si se quisiese conocer una dimension V'', S'', l'' á la temperatura t'' por medio de V', S', l', á la temperatura t', sin conocer aquella, se usará de la fórmula siguiente:

$$V''=\frac{V'(1+3\delta t'')}{1+3\delta t'}.$$

$$S''=\frac{S'(1+2\delta t'')}{1+2\delta t'}.$$

$$l''=\frac{l'(1+2\delta t'')}{1+\delta t'}.$$

32. grados..	o'99989....	79. grados..	o'99682.
34........	o'99995....	100.........	o'99299.
39........	1'00000....	122.........	o'99753.
44........	o'99995....	142.........	o'98182.
49........	o'99978....	162.........	o'97552.
54........	o'99952....	182.........	o,96891.
59........	o'99916....	202.........	o'96198.
69........	o'99814....	212.........	o'95860.

95. Cuando el agua se congela, se dilata repentinamente aumentando su volúmen una novena parte, cuya propiedad puede llegar á ser capaz de producir los efectos mecánicos mas poderosos. Tambien hay otras sustancias que gozan de la propiedad de dilatarse súbitamente, al pasar de la forma líquida á la sólida, entre las cuales está el hierro colado, cuya espansion es una de las dificultades mayores que tiene la práctica de la construccion de las diversas partes de las máquinas de vapor.

96. Ya se ha dicho (art. 82) que todos los fluidos elásticos se dilatan con uniformidad y en igual razon: de los esperimentos de Dalton y de Gay-Lussac se deduce que esta espansion es igual á o'375 del volúmen entre las temperaturas de la congelacion y ebulicion, ó de o'00208 por cada grado del termómetro de Fahrenheit.

97. Cuando los cuerpos se esponen á la accion del calórico, aunque éste no tenga la intension suficiente para producir alguna variacion en su estado mecánico, su temperatura se afecta diversamente, con iguales intensiones de aquel, p. e. el calor necesario para elevar la temperatura de una libra de agua 3 grados, será suficiente para calentar 100 igual cantidad de mercurio; y el calórico que absorven por este modo los cuerpos cuando se eleva igualmente la temperatura de masas iguales se llama su *calor específico*, cuya cantidad absoluta se desconoce todavia, siendo por consiguiente necesario indicar simplemente la

razon que hay entre los calores específicos de las distintas sustancias, tomando generalmente el agua como unidad.

98. Calor específico de diferentes cuerpos entre las temperaturas de congelacion y ebulicion del agua segun los Sres. Petit y Dulong.

Agua	1'0000.
Mercurio	0'0330.
Platina	0'0331.
Cobre	0'0940.
Hierro	0'1098.
Aire atmosférico	0'2669.
Hidrogeno	3'2936.
Oxígeno	0'2361.
Vapor	0'8470.

99. Siempre que se obliga á un cuerpo á variar de volúmen, se afecta su disposicion para el calor específico, disminuyendo éste cuando se condensan, y aumentándose cuando se dilatan, subiendo por consiguiente su temperatura en el primer caso, y bajando en el segundo. Los cuerpos sólidos que no son elásticos, se calientan por la percusion y la presion, hasta tal punto que algunas veces llegan á enrojecerse. El calórico que se desenvuelve al principio es el mayor, y aquellos al fin cuando la densidad llega á esceder á la que la presion puede producir, dejan de calentarse mas. En los líquidos el pequeño aumento de temperatura causado por la presion se compensa exactamente cuando ésta deja de obrar. Los gases y vapores se afectan tambien de modo semejante, elevándose su temperatura cuando se condensan, y bajando cuando se dilatan; el vapor está tambien sujeto á la misma ley, y asi cuando puede escaparse de la vasija en que se engendra bajo presion, se apropia rápidamente, al tiempo de dilatarse, la temperatura que pertenece al vapor formado bajo la presion disminuida, á que está entonces espuesto.

100. Cuando el yelo de temperatura inferior á 32 grados se espone á la accion del calórico, sube éste inmediatamente hasta igualar á aquella; entonces cesa el aumento de temperatura, empieza el yelo á derretirse, y no sube ésta hasta que aquel no acabe de derretirse completamente. De este hecho se infiere que una parte del calor aplicado, y que llega á ser insensible, es necesaria para la formacion del líquido que reside en él, en un estado que se llama *latente*.

101. Derretido el yelo empieza el agua á manifestar el aumento de temperatura, que continua creciendo hasta llegar á la de 212 grados, en cuyo punto empieza á hervir, esto es, á despedir vapor con rapidez, pero la del agua no puede aumentar mas allá de éste límite: el vapor que se desprende del agua tiene la misma temperatura que el líquido en ebulicion, infiriéndose de estos dos hechos que el calórico pasa tambien al estado *latente* cuando es capaz de convertir el agua en vapor. Cuando el vapor vuelve al estado de agua, y ésta al de yelo, el calórico, que llegó á ser *latente* en el cambio primitivo, vuelve otra vez á dejar de obrar haciéndose insensible; y para hacer la distincion debida entre el calor sensible, y el que es específico ó latente, se usa designar el primero con el nombre de *temperatura*; palabra de que nos hemos visto obligados á hacer uso hasta aqui sin definirla.

102. La cantidad de calor sensible que llega á hacerse latente en la liquefaccion del yelo, es de cerca de 135 grados de Fahrenheit.

103. La cantidad de calor sensible que llega á hacerse latente cuando el agua pasa al estado de vapor, bajo la presion media de la atmósfera, es de 990 grados.

104. Pero como el agua, segun se dirá mas adelante, es capaz de producir vapor en todas las temperaturas, se ha hallado que siempre la suma de los calores sensi-



ble y latente es cantidad constante, é igual á 1102 grados.

105. Todos los demas casos de liquefaccion y evaporacion estan acompañados de fenómenos semejantes del calor latente, siendo ley general que siempre que un cuerpo varía de estado mecánico, varian tambien sus relaciones con la temperatura.

106. Siempre que se espone la superficie de un líquido á la temperatura ordinaria, ó se somète á la accion del calórico, se disipa gradualmente; y ésta disipacion aumenta al paso que disminuye la presion atmosférica, llegando á su máximo cuando ésta se anula. En algunas temperaturas determinadas bajo la presion media de la atmósfera, los líquidos despiden vapores con mucha rapidez; cuya operacion, que está acompañada de una agitacion violenta, se llama *ebulicion*. Si la presion disminuye se verifica ésta en temperatura mas baja, y en el vacio formado por una bomba neumática hierve el agua cuando adquiere el calor de la sangre (98 grados). Cuando el líquido se calienta en una vasija cerrada puede elevarse su temperatura, aunque la presion sea mayor, á un grado mas alto que el necesario para que hierva al aire libre; y el vapor engendrado en todos estos casos, tiene la misma temperatura que el líquido de que procede, y contiene ademas calor en estado latente, segun el principio que se acaba de establecer (art. 105).

107. La fuerza espansiva del vapor á distintas temperaturas es muy diversa; á la de 212 grados es algo mayor que la presion atmosférica, y por consiguiente es capaz de escaparse de una vasija descubierta en cantidad suficiente para arrebatar, en estado latente, todo el calor que se comunica al líquido, que cuando ha llegado á alcanzar esta temperatura, no puede calentarse mas, y se evapora enteramente.

108. Las leyes generales á que está sujeta la tension



ó fuerza espansiva del vapor acuoso, son que mientras el calórico aumenta en progresion aritmética, la potencia espansiva lo verifica en geométrica; su presion se duplica cada 40 grados de Fahrenheit, como puede verse casi exactamente en la siguiente

TABLA *que espresa la fuerza elástica del vapor.*

Temperatura.	*Presion en atmósferas.*	*Presion por pulgada cuadrada.*
212	1	15 lbs.
251	2	30
275	3	45
291	4	60
304	5	75
315	6	90
324	7	105
331	8	120
338	9	135
345	10	150
351	11	165
356	12	180
361	13	195
365	14	210
369	15	225
372	16	240
375	17	255
378	18	270
381	19	285
384	20	300
387	21	315
390	22	330
392	23	345
394	24	360
396	25	375
398	26	390



109. Para calcular exactamente la fuerza con que el vapor formado ó contenido en una vasija tiende á romperla, deben rebajarse 15 libras de las cantidades que contiene la columna 3.ª, porque la presion de la atmósfera obra en contra de la fuerza elástica del vapor.

110. La densidad y el volúmen del vapor á diferentes temperaturas pueden determinarse por medio de la siguiente tabla, en la que ambas cantidades calculadas con relacion al agua, que se toma como unidad, indican fuerzas elásticas apreciadas en atmósferas.

Tabla de la densidad del vapor bajo diferentes presiones.

Presion en atmósfera.	*Densidad.*	*Volúmen.*
1.......	0'00059	1696
2.......	0'00110	909
3.......	0'00160	625
4.......	0'00210	476
5.......	0'00258	387
6.......	0'00306	326
8.......	0'00399	250
10.......	0'00492	203
12.......	0'00581	172
14.......	0'00670	149
16.......	0'00760	131
18.......	0'00849	117
20.......	0'00937	106

111. Cuando se espone agua ú otro líquido en una vasija cerrada á la accion del calor prontamente adquiere la temperatura de ebulicion, y el vapor que asi se desprende aumenta la presion de la atmósfera encerrada, retardando el hervor. La temperatura del líquido se elevará hasta esceder la que es necesaria para hervir al aire libre, y alcanzar el límite que varía en cada líquido diferente; y cuando llega este caso toda la masa de fluido se convierte

en vapor de gran densidad, que llena la vasija enteramente.

112. Como la fuerza elástica del vapor que se forma en vasijas cerradas aumenta con mucha rapidez al paso que se eleva la temperatura, es evidente que las en que se esponen los líquidos asi encerrados á la accion del calor deben de ser muy fuertes, y capaces de resistir una presion poderosa; pero sea cual fuere la resistencia de las vasijas, si no se limita la temperatura del fluido, llegará el caso en que escediendo la fuerza espansiva del vapor á la cohesion del metal de aquellas, reventarán haciéndose pedazos con la mayor violencia.

113. Los medios que se emplean para limitar la temperatura de los líquidos contenidos en vasijas cerradas se indicarán cuando se trate de la figura de las calderas.

114. Se ha dicho (art. 111) que cuando se calienta un líquido contenido en una vasija cerrada, la atmósfera de vapor formada dentro de ella retardará la ebulicion por cierto espacio de tiempo, al cabo del cual toda la masa del fluido se convertirá en vapor. Este hecho notable fue descubierto por Cagniard de la Tour; cuyas esperiencias dan los resultados siguientes:

1.° El eter se convierte enteramente en vapor á la temperatura de 302 grados en una vasija cerrada, que ocupa un espacio menor que el duplo de su primitivo volúmen, y ejerce una fuerza espansiva equivalente á 70 atmósferas.

2.° El sulfureto de carbon se convierte totalmente en vapor, en iguales circunstancias á la temperatura de 426 grados, y su fuerza espansiva es de 37 atmósferas.

3.° El alcohol y el agua presentaron iguales resultados, y aunque no se han observado las circunstancias precisas bajo las cuales se verifica la variacion de forma, se ha hallado que al convertirse el primero en vapor, su volúmen, triple del que tenia en estado de líquido, ejerce una fuerza de 119 atmósferas; y que el agua á una tem-



peratura casi igual á la en que se derrite el zinc, se convierte á un tiempo en vapor, cuyo volúmen es casi cuádruplo del primitivo, ejerciendo tan poderosa fuerza, que la esperiencia ha concluido rara vez con buen éxito, por haberse roto todas las vasijas en que se trató de ejecutarla.

115. El calórico se trasmite de varios modos; puede comunicar directamente de un cuerpo caliente á los que lo rodean; ó trasmitirse por medio de cuerpos intermedios, ó de una parte de un cuerpo á otro; y en los fluidos se distribuye en toda la masa por el movimiento que produce en todas sus partículas.

116. Cuando un cuerpo, sea cual fuere su temperatura, está rodeado de aire ó sumergido en un fluido que tiene otra mas baja que la de aquel, empieza á enfriarse adquiriendo por último la misma que tiene el fluido dentro del cual está colocado; sucediendo siempre que todo cuerpo mas caliente que los que lo rodean, comunica á estos el esceso de calor que tiene, hasta que sus temperaturas llegan á equilibrarse.

117. Si el cuerpo de que se trata se coloca en el vacío comunica igualmente el calórico á los que sirven para formar éste; llegando por último por el mismo estilo que se ha dicho en el artículo anterior, á equilibrarse la temperatura de todos; siendo por tanto evidente que el calórico que tiene un cuerpo aun cuando se aisle en un espacio vacío, se comunica á los que lo rodean al través del mismo vacío: este calor despedido por cada uno de los puntos del cuerpo caliente, se llama *radiante.*

118. El calor radiante ejerce su influencia no solamente cuando el cuerpo que lo despide está colocado en el vacío, sino tambien cuando está rodeado de aire, de otros gases, ó de líquidos; siendo suficiente para el objeto de esta obra examinar solo la forma en que se verifica la radiacion en el aire; porque no solamente son

mas fáciles de hacer asi las esperiencias que en el vacío, sino que el aire es el fluido en que aquella se verifica con mas frecuencia. El aire es capaz de disminuir la intension del calor radiante, pero no puede alterar las leyes á que está sujeto.

119. El calórico que despiden los cuerpos que estan calientes sigue direcciones rectas, como si procediera del centro de una esfera en la de sus radios; la radiacion que asi se verifica es susceptible de reflejarse, sucediendo con este reflejo lo mismo que con el de la luz, esto es, que el ángulo de incidencia es igual al de reflexion; y que ambos estan en un plano perpendicular á la superficie reflexiva. Las que estan bruñidas reflejan mejor el calórico, habiéndose hallado y establecido por principio general, que la propiedad de absorver y despedir el calórico de la superficie de los cuerpos sigue una ley comun, que está en razon inversa de la fuerza reflexiva.

120. Se llama *radiar* á la accion de comunicar el calórico, y de las esperiencias que se han hecho sobre esta propiedad en diversos cuerpos, se ha deducido el resultado que indica la siguiente

Tabla del poder radiador de distintos cuerpos.

Negro humo............	100.
Agua....................	100.
Papel de escribir.........	98.
Cristal..................	90.
Tinta de china...........	88.
Yelo....................	85.
Mercurio................	20.
Plomo brillante..........	19.
Hierro bruñido..........	15.
Estaño, plata y cobre.....	12.

121. De la inspeccion de la precedente tabla se deduce que el negro humo y el agua son los dos cuerpos que



radian mejor; y que los que lo hacen peor son los metales bruñidos: cuando la superficie de cualquiera de estos es desigual ó escabrosa, ó está cubierta de una capa de agua, de barniz, ó aun de género de lana, se aumenta su potencia radiatriz.

122. La razon inversa en que estan las fuerzas de reflexion y de absorcion puede comprenderse sin necesidad de recurrir á esperiencias, porque todo el calórico que cae sobre una superficie debe ser reflejado ó absorvido, y por consiguiente cuanto menos refleje ésta, absorverá mas. La relacion que existe entre las propiedades de radiacion y de reflexion no es tan obvia; pero la esperiencia manifiesta que al paso que la una aumenta disminuye la otra.

123. Cuando la temperatura de un cuerpo difiere de la del fluido que lo rodea el procedimiento con que se calienta ó enfria depende no tan solo de su poder de radiar, reflejar y absorver el calórico, sino tambien del modo con que el que recibe ó despide se reparte entre la masa, ó se desprende de ella. Ningun cuerpo permite que el calor radiante penetre mucho dentro de su masa, y nunca el mayor que adquieren los sólidos es producido por verificarse la radiacion entre sus partículas: esta propagacion del calórico entre todas las que los componen se llama su *poder conductor*, cuya propiedad gozan diversos cuerpos en distintos grados; p. e. una vara de cristal puede tenerse con la mano por un punto muy inmediato al en que se está derritiendo, y un pedazo de carbon de leña por la proximidad de su parte encendida; mientras que si se enrojece uno de los estremos de una barra de hierro no es posible tocar el otro sin quemarse.

124. Todos los metales son buenos conductores, y los mejores de ellos el oro y la plata. La arcilla y la loza vidriada malos, y el carbon de leña todavia peor: la paja, lana, algodon, pluma y otras sustancias de estructura se-



mejante, son los peores conductores entre todos los cuerpos sólidos; lo que se debe en gran parte á la presion del aire, que sujetan de tal modo, que no puede entrar en circulacion.

125. De todos los cuerpos sólidos con que se han hecho esperiencias para deducir el poder conductor relativo del calórico, se ha deducido la siguiente

Tabla del poder conductor de diferentes cuerpos.

Oro........................	1000.
Plata......................	973.
Cobre......................	898.
Hierro.....................	374.
Zinc.......................	363.
Estaño.....................	304.
Plomo......................	180.
Marmol.....................	24.
Porcelana..................	12.
Ladrillo cocido............	11.

126. Los líquidos son en general peores conductores que ningun cuerpo sólido, pero su temperatura se eleva no obstante con mucha rapidez cuando se les aplica convenientemente el calórico; asi pues, si se sumerge en un líquido un cuerpo caliente, la capa de aquel que está en contacto inmediato con éste se calienta, se dilata y hace mas ligera específicamente que las que la rodean; por consecuencia se elevan y son reemplazadas por otras que se elevan á su vez, y continua el movimiento hasta que el sólido y toda la masa del líquido adquieren igual temperatura; y siempre que se caliente por debajo cualquier vasija que contenga líquido, se forman en éste dos especies de corrientes distintas, una compuesta de las partículas calentadas que se elevan, y la otra de las frias que bajan para reemplazar la falta de aquellas. Pero si el calórico se aplica á la parte superior del fluido, solamente



se calienta su superficie, y el resto conserva la misma temperatura que antes tenia, ó se calienta imperceptiblemente.

127. Los gases se afectan del mismo modo, pero como son menos densos arrastran en sus movimientos menos calórico que los líquidos; y la radiacion, que apenas es perceptible en éstos, es la causa mas eficaz del enfriamiento de un cuerpo espuesto al contacto del aire.

128. La proporcion con que se va enfriando un cuerpo radiado por un fluido depende pues tanto de su poder radiador, como de la abstraccion del calórico por el movimiento de las partículas del fluido: la cantidad de radiacion disminuye en razon geométrica, asi como las temperaturas lo verifican en razon aritmética, siendo la primera dependiente de la naturaleza de la superficie del cuerpo. La proporcion del enfriamiento producido por el contacto de un fluido es tambien independiente de la naturaleza de la superficie, porque aun cuando las temperaturas y la proporcion del enfriamiento varian en razon geométrica, el multiplicador comun difiere en ambas progresiones, siendo 2 en el primer caso, y 2'35 en el segundo.

129. La propiedad enfriadora de los gases puede espresarse siempre en términos de alguna fuerza de su presion; el coeficiente de esta fuerza es en el aire 0'45; en el hidrógeno 0'315, y en el ácido carbónico 0'517.

130. Estas leyes son directamente aplicables á las masas de los cuerpos fluidos, porque el calor ó su disminucion se propaga en ellos con estremada rapidez por medio de su movimiento interno: en los sólidos la comunicacion del calórico es mas lenta; pero asi en éstos como en los otros, las leyes del calentamiento y enfriamiento son idénticas.

131. Cuando se enfria un cuerpo sólido por estar colocado en un medio cuya temperatura se mantiene cons-

tante, la parte esterior de aquel se enfria primero, y aumenta la temperatura de la superficie al centro; pero esta diferencia va disminuyendo gradualmente, y la totalidad de su masa llega al fin á conseguir un calor uniforme, é igual al que tienen los medios que lo rodean.

132. Si el cuerpo sólido se calienta solo por uno de sus puntos ó superficies, las partes restantes recibirán el calor por la propiedad del poder conductor; pero como cada uno de los puntos de la superficie radiará el calor, es facil conocer que llegará á su límite cuando la cantidad del calórico que se pierde por la radiacion, sea exactamente igual á la que se comunica al cuerpo; asi pues la temperatura llegará á ser constante, pero cada punto diferente tendrá la que corresponde á la distancia que lo separa del punto á que se aplicó directamente el calor.

133. Si se forma un cuerpo sólido dentro de una vasija que contenga líquido, y se aplica el calórico por la parte inferior de ella, el movimiento de éste comunicará su temperatura á todas las partes de aquel con quien está en contacto, que no escederá á la que hay en la parte interior de la vasija: la de la superficie esterior de ésta será tanto mayor cuanto corresponde á su poder conductor; y en las metálicas apenas será sensible la diferencia. Pero si el calórico se aplica sobre la superficie del líquido, éste no impedirá que aquella parte de la vasija llegue á calentarse todo lo que la sustancia que produce el calor es capaz de proporcionar; y si la aplicacion del calor se hace debajo de la superficie del líquido, é inmediato á ella, poco ó ninguno descenderá por las paredes de la vasija.

134. Si por algun accidente se interpone entre la vasija y el líquido cualquier sustancia no conductriz, la primera adquirirá un calor mucho mayor que el de la segunda, que se repartirá del mismo modo que si estuviera vacía.



Capítulo II.

Definicion de la combustion. — Oxigeno. — Llama. — Aire atmosférico. — Corrientes de aire producidas por la combustion. — Aumento de peso en el progreso de la combustion. — Temperatura de la llama, y modo con que se queman los sólidos, gases y líquidos. — Diversas especies de combustible. — Carbon é hidrógeno. — Valor comparativo de las distintas clases de combustible. — Partes de que se componen las hornillas. — Cenicero. — Enrejado para las brasas. — Cuerpo del horno. — Tubos de calor. — Chimeneas. — Apagador. — Puertas del horno.

135. De todas las causas que producen el calor una sola es la que tiene relacion con el objeto de esta obra, y es la operacion química llamada *combustion*, cuya voz considerada en el sentido general y mas estenso, indica la combinacion de los cuerpos con una clase de sustancias simples, que por esta causa se llaman *sostenedoras de la combustion*: en el caso presente la combinacion se hace con una de ellas solamente, que es el *oxígeno*.

136. El oxígeno es un cuerpo insípido, sin calor y ponderable, que se encuentra en la naturaleza en estado de gas, y que goza de la propiedad de combinarse con todas las sustancias simples conocidas, con mas ó menos energía; esta combinacion está siempre acompañada del desenvolvimiento de mayor ó menor grado de calor; siendo la cantidad de éste proporcionada á la energía de la accion con que aquella se verifica.

137. Es un principio ó ley general que todos los cuer-

pos cuando llegan á calentarse intensamente se vuelven luminosos: cuando este calor es producido por la combinacion con el oxígeno, se dice que el cuerpo *está en ignicion*; y si llega á tomar la forma gaseosa, por consecuencia de esta accion química, se convierte en lo que se conoce con el nombre de *llama*.

138. El oxígeno es una de las partes principales y constituyentes del aire atmosférico, del que forma cerca de una tercera parte; y la atmósfera nos proporciona la cantidad de este gas que necesitamos para producir calor artificial, como agente de la combustion; y aun cuando se consume por este medio gran cantidad de oxígeno, no sufre disminucion alguna, porque hay varias acciones naturales que estan constantemente reemplazando las pérdidas que esperimenta sin cesar. Una ley mecánica peculiar y que afecta á los cuerpos elásticos, los hace distribuirse con uniformidad sobre toda la superficie de la tierra, obrando cada uno como si fuera una atmósfera distinta; y por consiguiente la cantidad de oxígeno que hay en el aire es idéntica en todos los lugares, y en todas circunstancias.

139. No solamente es muy variable la cantidad de calor desenvuelto por la combinacion de diversos cuerpos con el oxígeno, sino que la con que empiezan á combinarse es tambien muy diferente: hay algunos que se combinan con él á la temperatura ordinaria de la atmósfera; otros requieren ser previamente sometidos á la accion del calor mas violento que somos capaces de producir, y otros, en fin, que solo se combinan con el gas en el momento de desprenderse ó separarse de alguna de sus distintas combinaciones químicas.

140. Como el oxígeno forma en el discurso de la combustion una combinacion con el cuerpo combustible, es facil conocer que una cantidad dada de aire atmosférico



deberá perder prontamente la facultad que goza de mantener aquella, y por tanto siempre que se desee conservarla se hace necesario reemplazar constantemente con nuevas masas de aires las consumidas. La misma operacion es capaz, sin embargo, de producir corrientes en la atmósfera, que durarán hasta que se haya verificado la combinacion de la mayor parte del combustible; y es muy facil, aplicando con inteligencia los principios de mecánica, proporcionar y regular el reemplazo de aire que corre asi hácia el cuerpo que se quema. En algunos casos en que se desea producir calor intenso se hace preciso dirigir sobre la superficie ó al través de la masa del combustible, corrientes del aire por medios mecánicos; y se dá el nombre de *máquinas de aire* á los aparatos destinados á este objeto, de los cuales los fuelles ordinarios son los mas comunes.

141. Las corrientes que se acaban de indicar estan formadas bajo el principio por el cual se ha dicho anteriormente (art. 126), se enfrian los cuerpos colocados dentro de los fluidos. El oxígeno entra generalmente en combinacion con la mayor parte de los combustibles que usamos, sin perder su forma gaseosa; y aunque es mas denso á una temperatura dada que lo era antes, llega por lo comun á calentarse tanto que se hace especificamente mas ligero que el aire adyacente, mientras que el resto de la masa de éste se calienta con igualdad, sin esperimentar ninguna alteracion química, elevándose por tanto con el oxígeno que ha entrado en combinacion; y el aire contiguo corre hácia el cuerpo que se quema con el objeto de ocupar el espacio que deja vacío la columna que se eleva. Las chimeneas y tubos de calor se disponen generalmente para dar direccion al aire caliente, y su efecto es mas intenso cuando no se permite entrar en ellos mas que el que pasa al través del combustible, pudién-

dose regular esta cantidad facilmente, ya sea variando el tamaño de la abertura ó boca por donde entre el aire que se dirige al fuego, ó alterando el area del tubo de calor. Se da el nombre de *registro* al aparato destinado para llenar el primer objeto; y *apagador* al que sirve para el segundo.

142. Aunque la densidad del oxígeno no es grande en ningun caso, como es ponderable debe aumentar siempre el peso del combustible; lo que á la primera vista parece contrario á la esperiencia comun, de la que aparece que todos los cuerpos se gastan y disminuyen en el discurso de la combustion. El hecho de que procede esta anomalía aparente está fundado en que los productos de la operacion son gaseosos en muchos casos, y por consiguiente se escapan con la corriente de aire que pasa al través del cuerpo que se quema; pero si fuera posible reunir la totalidad de aquellos, hallariamos un aumento de peso exactamente igual al del oxígeno consumido.

143. Varios cuerpos se hacen luminosos en el discurso de la combustion á diferentes temperaturas, verificándolo antes los sólidos que los gases: ninguno aparece visible aun en poca luz debajo de los 870 grados de Fahrenheit; y la luz es al principio de color rojo oscuro, haciéndose mas brillante segun va aumentando la temperatura, y resplandeciendo al fin el cuerpo con una luz blanca é intensa. Los sólidos pueden llegar á ser luminosos cuando el calor se les comunica simplemente y sin entrar en combustion: los gases no son luminosos hasta el momento de combinarse; y los líquidos se queman solamente cuando se volatiliz n, siendo por tanto la materia aeriforme que se escapa la que produce la luz, y no el líquido mismo.

144. Siempre que el combustible es sólido y está fijo de modo que no puede llegar á hacerse volatil por el calor engendrado por su propia combustion, se quema so-



lamente por la superficie, y aquel reside en el lugar en que ésta se verifica, desde donde se propaga por radiacion á los cuerpos que lo rodean, ó por su poder conductor, escepto la cantidad que se aplica á calentar la corriente del aire que pasa al través de la masa de combustible que se quema. Pero si el cuerpo pertenece á aquellos que son capaces de hacerse gaseosos á una temperatura inferior á la necesaria para arder, la combustion se verifica principalmente en la materia gaseosa, se estiende por la columna del aire que se eleva, y por dentro del tubo de calor al través del cual se dirige. El calor que adquieren los vapores en su combinacion con el oxígeno los hace luminosos, y es todavia mas intenso que el que se ha hallado en el parage en que el mismo combustible está colocado. Los sólidos pueden llegar á volatilizarse, ya sea por la operacion física de la evaporacion, ó ya por entrar los que los componen en nuevas combinaciones, cuyo estado natural es el gaseoso, siendo la llama el producto de ésta con el oxígeno en todos los casos.

145. La brillantez de la llama no es un indicativo exacto de la estension de su calor: la que sale del soplete compuesto, que es la que tiene el mayor que puede producirse, es escasamente visible á la claridad del dia; y las mas brillantes son aquellas en que hay un gas interesado que tiene un constituyente capaz de volver á adquirir la forma sólida en el discurso de la operacion, porque siendo éste capaz de llegar á ser mas luminoso en igual temperatura que el gas, comunica esta propiedad á la llama, de la que es parte constituyente. Esta es la causa del brillo intenso de la llama del hidrógeno carbonado, en las formas de aceite y de gas de carbon, ó en su estado puro de gas oleoso.

146. La llama puede enfriarse cuando el gas deja de ser luminoso ó se une con el oxígeno, lo que se verifi-



ca poniéndola en contacto con un cuerpo metálico ú otro buen conductor; en cuyo caso no se engendra nuevo calor en la corriente, que por lo tanto no puede producir por mas tiempo ningun nuevo efecto calórico.

147. La llama es generalmente hueca, esto es que la materia gaseosa se combina con el oxígeno solamente en su superficie, escepto en circunstancias particulares: asi cuando un gas inflamable está íntimamente mezclado con oxígeno, el todo se inflama repentinamente, haciendo esplosion; y cuando se impelen corrientes de aire con violencia dentro del cuerpo de la llama, el calor es mas inintenso y se escapa menos combustible sin quemarse que en los casos de ser aquellas iguales á las ordinarias, puesto que la totalidad de la materia gaseosa puede consumirse dentro de un espacio menor. En este pais se ha aplicado ventajosamente este principio á las calderas de varias máquinas de vapor, en que siendo el espacio limitado es facil distinguir dentro de él una combustion mas completa, habiéndose adoptado con mucha utilidad para las ruedas de abanico. Semejante disposicion se ha introducido mas posteriormente en Inglaterra en la caldera de una máquina locomotriz de que hablarémos mas adelante.

148. La corriente de aire que se dirige hácia una masa de combustible encendido, y pasa al través de ella, produce dos efectos diametralmente opuestos y contrarios; mientras que por una parte el oxígeno que es necesario para mantener la combustion engendra calor, entrando en combinacion con el combustible, por otra el resíduo del aire atmosférico que constituye las cuatro quintas partes del todo, arrastra tras sí una parte mayor ó menor del calor asi producido, siendo el efecto verdadero que se consigue al tiempo de calentar, dependiente de la diferencia de estos dos efectos, estando afectado por la relacion existente entre la masa del aire y la del combusti-



ble. Cuando el area de la corriente de aire es pequeña comparada con el volúmen del combustible, y cuando se dirige por medio de un pequeño diámetro, se aumenta la energia de la combustion y la longitud de la llama; pero si la misma cantidad de aire entra por un orificio mayor, disminuye el volúmen de la llama, y puede aun llegar á estinguirse por la segunda de las dos acciones descritas.

149. Aunque los cuerpos que conservan la forma sólida en el discurso de la combustion se queman solo por su superficie, el calor engendrado puede sin embargo ser de suficiente intension para hacerlos luminosos por todas partes; tambien las corrientes del gas calentado que hacen la llama luminosa corren solo por las superficies; pero la materia sólida que arrastran ó que se desprende de estas corrientes será luminosa, bien sea sobre la superficie ó en otra parte.

150. Estos son los principios generales de la combustion y de la naturaleza de la llama, que no es posible desenvolver con mas estension sin considerar antes la constitucion peculiar y el modo en que arden las varias clases de combustible de uso mas comun.

151. Las que se emplean generalmente para producir el vapor son las siguientes:

1. Leña de pino
2. Leña de madera dura
3. Carbon bituminoso
4. Carbon *anthracite.*

Cada una de ellas tiene su modo peculiar de quemarse, y por tanto las hornillas ó fogones que se emplean deben de ser de diversa figura y disposicion, lo mismo que los tubos de calor y las chimeneas, por dentro de las cuales se dá salida á la corriente de aire que pasa por dentro de aquellos.

152. Las propiedades generales que debe tener un buen combustible son las de quemarse facilmente en el aire atmosférico, y la de que el calor engendrado por la combustion se mantenga con igualdad hasta que todo se consuma: el calórico se conduce desde el combustible por medio de uno de los tres modos siguientes:

1.º Por la corriente de aire calentado.

2.º Por la radiacion directa de su parte sólida.

3.º Por la radiacion de la llama que se forma, y el poder conductor de los tubos de calor con los cuales se pone ésta en contacto.

153. En la aplicacion de estos métodos para la formacion del vapor el primero es de poco uso, porque al paso que se enfria la columna de este aire que se eleva, disminuirá su velocidad, y la cantidad que atrae la chimenea; pero los dos últimos, asi como la accion de los conductores de la llama, son los que generalmente se emplean, no empezando el tubo ó parte superior de la chimenea hasta el punto en que termina la llama.

154. Los combustibles simples que se encuentran en las cuatro clases de que hemos hablado son *carbono* é *hydrógeno*; el carbon de piedra contiene generalmente alguna cantidad de azufre, que nunca llega á ser suficiente para influir en el modo con que se quema: tambien hay ademas una porcion de oxígeno.

155. El *carbono* es una materia que existe en estado casi puro en el carbon ordinario de leña, y en el depósito negro que se encuentra adherido á las paredes interiores de los tubos de calor, por dentro de los cuales pasa la columna de aire que atraviesa la masa del combustible encendido.

156. En esta forma es un cuerpo sólido, de color negro subido, insípido y sin olor; es infusible por el calor y no llega á volatilizarse, pero en el discurso de la com-



bustion el que procede de varias especies de combustible se divide en porciones tan pequeñas, que es arrebatado por el aire caliente, y se deposita por este medio sobre la parte interna de los tubos de calor, formando con otra materia condensada el hollin.

157. Se combina con el oxígeno en dos proporciones diferentes, formando *óxido carbónico* y *ácido carbónico*: el primero conserva aun la propiedad de combinarse con el oxígeno, y como es gaseoso forma llama de color azul pálido; el segundo es incombustible y estingue la llama.

158. El hidrógeno en su estado puro existe en forma gaseosa, y es la mas ligera de todas las sustancias conocidas, siendo su densidad comparada con la del aire atmosférico como 1 : 14; se combina con la mitad de su volúmen, ú ocho veces su peso, con el oxígeno estando inflamado, siendo el resultado de la combinacion el agua, que por consecuencia del gran calor producido por la combustion, está al principio en estado de vapor: esta combinacion está acompañada del mayor grado de calor que se puede conseguir por cualquier especie de combustible, como se demuestra por los efectos del soplete compuesto, en el que la corriente de oxígeno é hidrógeno combinados en la proporcion necesaria para formar el agua, sale inflamada.

159. Tambien se une el hidrógeno con el carbon formando una sustancia compuesta muy conocida y de uso general, que es el gas oleoso (*hidrógeno bicarbonado*) que se encuentra igualmente en forma gaseosa, conteniendo menor proporcion de carbono, aunque todavia es disputable si cualquiera de los distintos gases de esta especie son compuestos ó combinaciones mecánicas y sencillas de gas oleoso con hidrógeno no combinado.

160. Cuando se espone á gran calor cualquier cuerpo sólido ó líquido que contenga una combinacion de car-



bon y de hidrógeno, los gases se desprenden é inflaman; otros compuestos de estas dos sustancias que constituyen una parte importante, se forman tambien algunas veces, pero no son combustibles.

161. Por tanto no solo se quema una parte del combustible en el cuerpo del fogon ú hornilla, separándose sus partes mas volátiles, sino que se verifican en él nuevas combinaciones, parte de las cuales es inflamable tambien, y se quema en la chimenea siempre que al mismo tiempo entre en ella cantidad suficiente de oxígeno no combinado: estos nuevos productos inflamables son óxido carbónico é hidrógeno carbonado.

162. El carbon al tiempo de quemarse se combina solo con $2\frac{2}{3}$ de su peso de oxígeno, y la cantidad equivalente á una libra produce el calor suficiente para aumentar un grado de Fahrenheit la temperatura de 13,000 libras de agua.

163. El hidrógeno se combina con ocho veces su peso de oxígeno, y una libra al tiempo de quemarse es suficiente para calentar un grado de Fahrenheit 42,000 libras de agua.

164. De lo dicho se infiere que con cantidades dadas de combustible la que contenga mas hidrógeno producirá al tiempo de la combustion el mayor calor, lo que se verifica en la práctica ordinaria, en la que se dá la preferencia á la leña de pino sobre la dura, y los carbones de piedra bituminosos al *anthracite*. Pero como el hidrógeno y la nueva composicion que resulta se separan facilmente en la forma de gas, que lleva tambien consigo humo denso, compuesto de partículas muy pequeñas de carbon, no es posible que las materias que abundan en el hidrógeno manifiesten su eficacia hasta que la totalidad del humo y del gas no se consumen.

165. Siempre que solo sea efectivo el calor radiante



de la hornilla, ó cuando la materia volátil se escapa sin consumirse, ó sin ser aplicada, serán preferentes los combustibles que abundan de carbon; asi pues de los esperimentos hechos por Marcos Bull, con la mayor escrupulosidad y exactitud, publicados en las Transacciones de la Sociedad Filosófica de Filadelfia, se deduce que los valores de los diversos combustibles estan casi exactamente proporcionados á la cantidad de carbon que contienen; aunque examinando sus procedimientos se halla que todas las distintas sustancias se esperimentaron en el mismo aparato, que era el mas aparente para producir la mas ventajosa combustion del carbon de leña y del *anthracite*. Aquellos ensayos no son por consiguiente mas que comparaciones muy apreciables de los efectos producidos por la radiacion directa de la parte del combustible que se conserva sólida, pero no dan conocimiento exacto del poder calentador absoluto de todas las sustancias, cuando se quema cada una de ellas en un horno ó fogon que tenga la figura mas aparente para su modo peculiar de quemarse. El carbon de leña y el *anthracite* tienen muy poca ó ninguna pérdida en forma de humo; y el óxido carbónico que se forma se quema por lo general completamente, lo que no sucede con las demas especies de combustible, escepto en el caso de quemarlos en aparatos dispuestos espresamente para consumir el humo.

166. Cuando se espone la madera dura bien seca, á la destilacion destructiva, el resíduo de carbon sólido nunca escede del quinto del peso de aquella: como una cuarta parte de la materia volátil es capaz de condensarse en forma líquida, siendo agua cargada de un aceite empireumático, y de ácido acético, cuya mezcla es lo que se llama generalmente *ácido piro-leñoso*; y una mitad completa de la masa se desprende en forma elástica permanente. Como el análisis no produce mas que las tres sustancias

indicadas, y como el oxígeno se encuentra en el ácido, es probable que todos estos productos gaseosos sean inflamables. El pino produce poco ó ningun ácido piro-leñoso, y menos resíduo de carbon, debiéndose deducir por tanto que cuando está bien seco, tres cuartas partes completas de la totalidad de su peso son capaces de formar llama.

167. Siempre que se emplee la leña para combustible debe cuidarse de que esté lo mas seca que sea posible, porque cuando está recientemente cortada contiene considerable cantidad de agua; y como no puede quemarse sin adquirir el calor suficiente para que esta se descomponga y pueda convertirse en vapor, resulta considerable pérdida de aquel; y debe tenerse presente que la leña no pierde enteramente la humedad por su esposicion al aire libre, y conserva lo menos una décima parte de su peso de ésta, á menos de emplearse para secarla calor artificial igual, cuando menos, al del agua caliente: por tanto para que la leña produzca el máximo calor que es capaz de producir, no solamente debe cortarse en sazon, sino estar seca por medio de aplicacion directa de aquel. La que generalmente se emplea tiene cerca de una cuarta parte de su peso de agua combinada mecánicamente perdiéndose por tanto inútilmente el calor necesario para hacerla evaporar.

168. Las maderas duras se queman solo superficialmente; el calor que asi producen obliga á escaparse prontamente á todas las materias volátiles, y las que de estas son inflamables se incendian y forman la llama, de modo que muy pronto queda solo una masa compacta y sólida de carbon, que se quema poco á poco sin hacer llama.

169. La de pino y otras maderas ligeras arde con mucha mas rapidez, pues se abre ó estalla por la accion del calor; y como tambien son suficientemente porosas permi-



ten la entrada del aire, y mucha parte del carbon que se forma igualmente ó toma nueva forma de combinacion con el hidrógeno, ó se escapa en estado de humo, dejando por consiguiente poco ó ningun carbon de leña, y conservando la llama hasta el fin de la combustion.

170. Los esperimentos del Conde de Rumfort dan los resultados siguientes:

Clases de leña.	*Libras de agua calentada 1 grado por 1 libra de combustible.*
Roble sazonado..............	4590.
—— seco en estufa...........	5940.
Arce, idem..................	6480.
Abeto sazonado..............	5466.
Seco en estufa..............	7150.

Estos resultados son demasiado elevados para poderlos admitir en la práctica, porque ni es facil tener á mano los medios de secar la leña, ni tampoco conseguirla convenientemente sazonada; por tanto no se debe prudentemente apreciar en mas de 4500 libras la cantidad de agua que una libra de madera dura es capaz de calentar un grado, y en 5000 libras la que puede calentar la misma cantidad una libra de leña de pino.

171. Del resultado de las esperiencias de Bull, se deduce lo que sigue:

Clase de la leña.	*Peso de la cuerda.*	*Valor comparativo.*
Castaño de corteza dura *Shell bark hickory*...	......4469 lbrs......	100
Castaño cochinero *Pig-nut-hickory*.....	......4241...........	95



Castaño de corazon rojo *Red-heart-hickory*...	.......3705...........	81
Roble blanco.................	3821...........	81
—— rojo...................	3254...........	69
Arce duro..................	2878...........	60
Pino de Jersey..............	2137...........	54
—— de Tea.................	1904...........	43
—— blanco.................	1868...........	42

172. La diferencia con que se queman los carbones bituminosos y *anthracite* es todavia mas marcada que la en que lo ejecutan las distintas clases de leña: los que contienen mucho betun (como el de *Cannel*) arden mucho mejor que el pino, se rajan y despiden gas inflamable: los que tienen menos (como el de *Liverpool*) arden al principio con llama, dejando despues una masa de ascuas que se quema sin ella. El *anthracite* tiene poca ó ninguna de ésta, escepto la que procede de la formacion de una porcion de óxido carbónico. Todos ellos contienen mas ó menos agua, pero no se pierde mucho calor en su combustion por esta causa, porque no empiezan á quemarse hasta la temperatura necesaria para descomponer aquella, y en la llama que despiden se combinan nuevamente los dos gases y dan tambien calor; por cuya causa el carbon de piedra bituminoso cuando está húmedo produce mas llama que estando seco; y aunque no se acostumbra echar agua al *anthracite*, es sabido que el que se saca de las minas que estan en terreno húmedo arde mejor y con mas prontitud y llama que el de las de seco. Cuando el carbon bituminoso se somete á la destilacion destructiva, queda como dos terceras partes de su peso en forma de *Coke* (carbon calcinado), que se compone esencialmente de carbon: una parte de la materia volátil, aunque capaz de condensarse, es inflamable y concurre á la formacion de la llama,



componiendo ésta y el gas inflamable como una cuarta parte del peso del carbon, y siendo incombustible el resto que compone cerca de $\frac{1}{11}$ de la totalidad.

173. Los mejores *anthracites* contienen cerca de 95 por ciento de materia inflamable, que es principalmente carbon: al tiempo de quemarse queda siempre sin embargo un considerable residuo de carbon, porque el interior de los pedazos en que se rompe no puede inflamarse, y el polvo no se quema; lo que no sucede con el bituminoso que estan todas sus partículas espuestas al contacto del aire, porque se abre ó rompe al tiempo de la combustion, y porque los mas pequeños pedazos son susceptibles de inflamarse.

174. Calculando el poder calentador de las dos clases de carbon de piedra por su composicion química, se tendrá el resultado siguiente:

Clases de carbon.	*Libras de agua calentada 1 grado por 1 libra de carbon.*
Promedio del carbon bituminoso	13.792.
Anthracite	12.350.
Calcinado	13.000.

175. Sin embargo, en la práctica se pierde cantidad considerable de calor, que puede apreciarse segun los mejores esperimentos en una tercera parte para el primero y último; siendo la que esperimenta el segundo hasta su menor completa combustion todavia mayor; debiéndose por tanto reducir los resultados á los que siguen:

Carbon bituminoso	9200 libras.
Calcinado	8600
Anthracite	7800

Este último es indudablemente exagerado.



176. Las hornillas ó fogones en que se quema el combustible empleado generalmente para producir el calor, se componen de la hornilla ó fogon en que se coloca éste, del enrejado ó emparrillado sobre que descansa; de la boca ó abertura por donde entra el aire, y del cenicero en que caen todas las partes que no se consumen. Generalmente se construyen de forma que entre el aire por la parte inferior, y al través del cenicero; pero algunas veces baja este desde arriba atraido por el fuego, y pasa hácia abajo al través del enrejado. Cuando tratemos de estas distintas partes seguiremos al aire en el camino que recorre conforme vá pasando por cada una de ellas.

177. El cenicero es generalmente de figura cuadrangular, cerrado con paredes por tres de sus lados, y abierto por la cuarta, que tiene figura de arco, ó está asegurada por medio de una barra de hierro: su seccion es generalmente del mismo tamaño que el emparrillado, y su altura depende de las circunstancias de su posicion. En las máquinas colocadas en tierra se acostumbra ahora poner algunas pulgadas de agua en el fondo del cenicero, que se renueva por una pequeña y constante corriente, por cuyo medio se consigue conservar caliente el aire que corre hácia la hornilla, y que cargándose de humedad se aumente la estension de la llama. En algunos de los barcos de vapor mas modernos se colocan las calderas encima del forro de defensa de las ruedas; y el espacio que hay debajo del emparrillado está abierto por su parte inferior; habiendo demostrado la esperiencia que la combustion es asi mas intensa; y no es posible dar mas reglas sobre la construccion del cenicero, cuya figura y tamaño dependen de los de la hornilla y posicion en que esta se coloca.

178. El emparrillado se compone de barras paralelas, que comunmente son de hierro colado, cuya seccion es por lo general de figura de un triángulo isoceles cuya ba-



se queda siempre en la parte inferior: sus estremos son rectangulares y de ancho suficiente para mantener las barras á distancia de media pulgada unas de otras; y cuando son largas se disponen de modo que sean mas anchas por el centro, y que vayan disminuyendo hácia sus puntos de apoyo, arreglándose sus dimensiones con presencia del peso del combustible que han de sostener, y de los golpes que estan espuestas á llevar, siendo de una y media pulgada de grueso las de las hornillas mas grandes. La abertura por donde entra el aire no escede de la cuarta parte de la del emparrillado, y todavia disminuye la primera por la colocacion del combustible en ella, y por la interposicion de la ceniza y del cisco, siendo el menor espacio que debe dejarse para el paso del aire al través del emparrillado, igual al area de la chimenea; y como éste es el mínimo, es necesario por los obstáculos arriba indicados, hacer la del emparrillado cuatro veces mayor que la de la chimenea: mas adelante se indicarán las reglas que sirven para determinar las dimensiones de esta parte del aparato.

179. Es costumbre general de todos los maquinistas prácticos, dar un pie de area al emparrillado por cada pie cúbico de agua evaporada por hora, si el combustible es carbon de piedra, y doble cuando se quema leña, cuyo método coincide con las deducciones teóricas de los maquinistas alemanes y franceses; pero sea cual fuere el combustible es mucho mas conveniente que el emparrillado sea algo mayor que menor; si se usa *anthracite* es necesario proceder inversamente, porque una columna de aire demasiado grande disminuiria la fuerza de la combustion.

180. Encima del emparrillado se coloca el cuerpo del fogon ú hornilla, cuya seccion horizontal se determina con presencia de la figura y tamaño del emparrillado, y su altura segun la especie de combustible que haya

de usarse. Esta debe ser la necesaria para proporcionar la combustion completa de cada una de las clases que se usan, y para que quede espacio suficiente sobre el combustible para que la llama se forme debidamente y pueda entrar en los tubos de calor.

181. Es sumamente dificil prescribir una regla exacta para determinar la altura del combustible que descansa sobre el emparrillado, pues cuanto mayor sea la masa de aquel, mayor deberá ser la altura, que podrá tambien aumentarse agrandando la boca de la chimenea; y siempre que se aumente ó eche combustible debe hacerse en cantidad suficiente para que aparezca disminuida la fuerza de la combustion, ganándose asi la doble ventaja de tener que hacerlo con menos frecuencia, y de que el aire que entra se aplique completamente á fomentar el fuego.

182. Se ha deducido de la práctica que la altura de cuatro pulgadas es la mas conveniente para el carbon bituminoso; el *anthracite* necesitará lo menos el doble, y la leña todavia mas. Con respecto á la cantidad de combustible es necesario tener presente que las hornillas destinadas para leña deben ser de doble capacidad, cuando menos, que las que sirven para carbon, y que la distancia de 12 á 15 pulgadas desde el emparrillado al fondo de la caldera es suficiente para la combustion mas ventajosa del carbon bituminoso; habiendo acreditado la esperiencia que cuando la altura del fogon en que se quema leña es menor de 3 pulgadas, se disminuye considerablemente el efecto del combustible.

183. En las máquinas de alta presion debe ser menor el espacio, pero es perjudicial en todos los casos el que la caldera esté muy inmediata ó en contacto con el combustible; la razon es muy obvia, porque si el calor se proporciona del mismo combustible, y no de la llama y del aire calentado que ha pasado al través de la hornilla,



asi éste como la materia volatil se enfriarán prontamente, la estension de la llama disminuirá, y gran porcion de combustible se escapará sin consumirse, siendo menor tambien la absorcion de la chimenea por el enfriamiento del aire, y la ausencia de la llama.

184. Las hornillas colocadas dentro de las calderas parecen muy ventajosas á primera vista, porque estando encerradas en éstas no se pierde calor alguno; pero esta ventaja no es mas que aparente, porque enfriándose la superficie inferior de la hornilla por el contacto del agua á una temperatura que no puede esceder mucho de 212 grados, aun en las máquinas de alta presion, y siendo ésta muy inferior á la de la llama, la combustion se debilita, la absorcion de la chimenea disminuye, y la llama tiene muy poca estension. Pero en algunos casos en que es necesario economizar sitio y aliviar peso, se hace preciso colocarlas de esta manera, como sucede en los barcos de vapor y locomotores de caminos de hierro; y siempre que suceda, con el objeto de disminuir los inconvenientes, debe revestirse la hornilla con ladrillos cocidos ú otros malos conductores del calórico, y aumentarse el largo de los tubos de calor, por cuyo medio toda la materia gaseosa se convertirá en llama, y se aplicará útilmente.

185. Hay algunos casos en que es conveniente quemar el humo que sale de las hornillas; pero como cuando el fuego se maneja bien se escapa poca materia sin consumirse de las de figura ordinaria, esta construccion es de poca importancia para aumentar el calor producido por una cantidad dada de combustible, pudiendo únicamente servir cuando el humo que se desprende al tiempo de aumentar combustible incomode al vecindario. En una obra como la presente parece escusado entrar en la esplicacion del mecanismo de las hornillas dispuestas al intento.

186. Cuando se usa carbon bituminoso debe reempla-



zarse el que se consume, segun lo vá verificando, por medio del aparato movido por sí mismo inventado por Brunton, de Birmingham en Inglaterra; el que segun parece disminuye mas de una tercera parte el consumo: en este pais no se usa aquel combustible casi nunca, y por tanto no hemos visto ningun aparato de esta especie.

187. De todo lo dicho hasta ahora se deducirá facilmente que las partes volátiles del combustible y del aire caliente que ha pasado al través de él, no deben entrar de una vez en la chimenea, sino mantenerse en contacto con la caldera lo menos mientras dure la llama: esta y el aire deben circular por dentro de los tubos de calor que se colocan ó debajo de la caldera, ó sobre sus lados, ó por la parte interior: su largo dependerá de la clase de combustible, que cuando arde con mucha llama, deberá ser grande; y si despide poca bastará un conducto horizontal por debajo de la caldera, de todo su largo; la leña de pino requiere por consecuencia los tubos de calor mas largos, y el carbon *anthracite* los mas cortos.

188. Cuanto mayor sea la periferia del tubo de calor de una area dada, tanto mayor será el calor que comunicará; pero tambien será mayor la friccion del aire calentado sobre su superficie. Tambien resulta la necesidad de darle distinta forma segun la especie de combustible usado, porque los que producen mucha llama requieren tubos de calor de la mayor periferia posible, cuando los que despiden poca ó ninguna deben ser cuadrados ó circulares. Esta regla es aplicable tan solo á los que estan situados por debajo de las calderas, ó por sus lados; porque cuando pasan por dentro de ellas es necesario, atendiendo á la seguridad, que su seccion sea generalmente circular.

189. Siendo el aire mal conductor del calórico, el fondo del tubo de calor se calienta menos que sus lados,



y éstos menos que la tapa; por tanto los que estan situados por la parte inferior de la caldera son todavia mas útiles que los que la rodean, y siempre que pasen por su parte interior deben colocarse de forma que esten enteramente sumergidos en el agua, á menos que no haya poderosa razon que lo impida.

190. El area total de los tubos de vapor no debe ser menor que la de la chimenea, porque en caso contrario se impediria la atraccion de ésta, y no resultaria ventaja alguna de hacerla mayor.

191. Cuando la llama está completamente estinguida no es conveniente hacer circular la corriente de aire alrededor y en contacto con la caldera, puesto que aunque una parte del calórico de aquel pasará á ésta, será indudablemente á costa de la intension de la combustion, escepto cuando sea posible dar mucha altura á la chimenea. El ascenso del humo en éstas es debido á la densidad que tiene el aire calentado que contiene, y la del atmosférico; y la potencia que impele la corriente es por consecuencia la diferencia del peso de dos columnas; una de aire atmosférico, y otra de aire calentado y rarefacto de la chimenea, cuyas alturas son iguales á la de ésta, y cuyas areas son las mismas que la de la abertura por donde el aire calentado entra en la chimenea. Por tanto cuando las circunstancias permiten dar á ésta mucha altura, el aire que contiene no necesita rarefacerse mucho para conseguir una fuerza de atraccion igual; y los tubos de calor pueden disponerse de manera que circulen lo mas que sea posible alrededor de la caldera; y por regla de precaucion y seguridad debe tenerse presente la necesidad de que el gas tenga el ascenso libre cuando llega á inflamarse totalmente. En las hornillas destinadas para quemar madera y carbon bituminoso, sucede frecuentemente que la llama entra por la chimenea vertical, perdiéndose

mucho calor, cuando en las en que se quema *anthracite* los tubos de calor son frecuentemente tan largos que se disminuye la atraccion de aquella, y la consiguiente intension de la llama.

192. El ascenso del aire en las chimeneas se debe segun se ha dicho (art. 191) á su altura y á la temperatura de la columna ascendente de aire, pero esta es la media del aire contenido en la chimenea, y no la que tiene al tiempo de entrar en ella; porque sus paredes absorven calórico, de que son luego despojadas por los efectos de la radiacion y de la accion enfriadora del aire; y por consiguiente disminuye rápidamente la velocidad, sufriendo éste considerable friccion dentro de la chimenea.

193. Esta resistencia está en razon directa del cuadrado de la velocidad y del largo de la chimenea, é inversa de su diámetro.

194. El enfriamiento producido por el aire depende no solamente de la cantidad de superficie espuesta á su accion, sino de la naturaleza de la materia; y la esperiencia podrá únicamente manifestar cual es la influencia que ejerce sobre la velocidad, siendo en nuestra opinion la radiacion la causa de esta pérdida de calor.

195. De los tres materiales que se emplean para fabricar las chimeneas de las máquinas de vapor que son plancha de hierro, hierro batido y ladrillo, el primero es el peor, y el último el mejor radiador del calórico; pero la diferencia bajo todos aspectos entre los dos primeros es despreciable, y como los tubos de hierro colado deben de ser mas gruesos que los de hierro batido, la superficie esterior ó radiadora de los primeros se calentará mas tarde que la de los segundos, deduciéndose por consecuencia que las chimeneas hechas de hierro colado tienen la mayor atraccion, y las de ladrillo la menor: asi lo han acreditado recientes esperimentos.



196. Es sumamente dificil calcular las dimensiones convenientes de las chimeneas; porque lo son igualmente casi todos los elementos que entran en el cálculo: Peclet ha dado un método fundado en principios rigorosamente científicos, pero es demasiado complicado para la práctica. La regla dada por Tredgold es la siguiente: *Multiplíquese el número de pies cúbicos de agua que se evapora en una hora por el número constante 102, y pártase el producto por la raiz cuadrada de la altura de la chimenea: el cuociente será su area.*

197. Este resultado puede tomarse como el mínimo para las de ladrillo usando carbon bituminoso. El primero de los dos autores citados arriba advierte que el area de las chimeneas debe hacerse doble de lo que resulta de su sistema; pero en las de hierro puede ser el area menor con igual combustible, y disminuirse todavia mas si se quema *anthracite*; asi como es preciso aumentar el area de las de las máquinas en que se hace uso de leña, hasta hacerla esceder á las primeras.

198. La figura mas conveniente de la seccion de las chimeneas es la circular, porque la friccion en ellas es menor que en las de cualquier otra, y porque si son de metal cuestan menos; de las demas figuras que tienen secciones circulares, la mejor para el caso presente es el cono truncado, cuya base superior debe ser el resultado que dá la regla de Tredgold, y la inferior doble: si la chimenea fuere cilíndrica, un pequeño cono truncado ó conoide colocado en su estremo superior la hará obrar con mas ventaja.

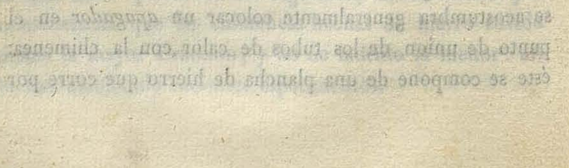
199. Como ocurren en la práctica muchas circunstancias que obligan á alterar la intension de la combustion, se acostumbra generalmente colocar un *apagador* en el punto de union de los tubos de calor con la chimenea: éste se compone de una plancha de hierro que corre por

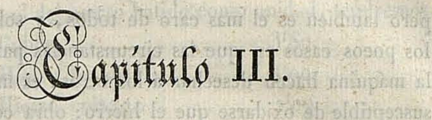
unas aberturas ó canales, pudiéndose por este medio cerrar parcial ó totalmente la boca de la chimenea. Al tratar de las calderas se esplicará el modo de hacer que los apagadores obren por sí mismos, y de aplicar aquel mecanismo á éstos, y conseguir que la abertura de la chimenea sea la que conviene para proporcionar el calor que se desea.

200. Las puertas de las hornillas son generalmente cuadradas; giran sobre visagras y se aseguran con aldabas; se hacen casi siempre de hierro colado, y algunas veces tienen un resalto para asegurar un revestimiento de ladrillo. Las mejores de todas serian dobles y de hierro, dejando un hueco entre ambas lleno de aire, si no fuese porque la interior se destruiria rápidamente por la accion del fuego.

201. Cuando se desea el primor y la limpieza, se hace todo el frente de la hornilla de hierro colado, dejando aberturas para las puertas y el cenicero: en las de reverbero se usa frecuentemente suspenderlas por medio de una palanca, que tiene un contrapeso en el otro estremo, cuyo mecanismo podria aplicarse ventajosamente á las máquinas de vapor.

202. La forma, disposicion y colocacion de las hornillas, tubos de calor y chimeneas, pende en gran manera de las de las calderas, y por consiguiente no se pueden dar reglas prácticas para esta regla tan importante mientras no se examine detenidamente la estructura de aquellas.





Capítulo III.

Calderas.

Materiales de que se construyen las calderas. — Su figura. — Su resistencia y espesor. — Aparato para conocer el nivel ó altura del agua que contienen. — Aparato de reemplazo de agua. — Prueba de las calderas. — Válvulas de seguridad. — Válvulas de aire. — Atmósmetros. — Apagador regulado por sí mismo. — Apagador ordinario. — Registro. — Peligros causados por no estar cubierto de agua el fondo de la caldera. — Termómetro. — Planchas de metal fusible. — Valvuelas que se abren cuando llega la temperatura á su límite. — Depósitos de material sólido, y medios de disminuirlos y limpiarlos. — Tubos de vapor. — Generador de Perkins.

203. Las calderas en que se convierte el agua en vapor para dar movimiento á las máquinas son siempre de metal, y los tres distintos que se usan son hierro batido, hierro colado y cobre. El primero y el último se tiran en planchas para este objeto, y despues de darles la figura conveniente se unen por medio de pernos, que pasan por agujeros abiertos en los cantos, y se remachan por ambos lados. Cuando las calderas son de hierro colado deben fundirse de una sola pieza, ó bien en varias porciones separadas que se reunen y sujetan con tornillos de tuerca, que pasan por los agujeros convenientes. De los dos metales primeros el cobre es el que se trabaja con mas facilidad,

pero tambien es el mas caro de todos, y solo se usa en los pocos casos en que las circunstancias particulares de la máquina hacen desechar á los otros: es mucho menos susceptible de oxidarse que el hierro; obra con menos intension sobre los depósitos salinos que resultan usando de agua del mar, ú otras impuras; y ademas está menos espuesto á abrirse ó reventar en los diversos cambios de temperatura.

204. El hierro en planchas tiene mas tenacidad que el cobre, pero se oxida con mucha rapidez, y aquellas suelen tener uniones invisibles segun el método seguido para su fábrica. Con todo, cuando el agua que se usa es medianamente pura, es el mejor de todos los materiales, si se atiende á la resistencia y menor costo comparativo.

205 El valor relativo de las calderas de los tres metales indicados puede estimarse segun se indicará en seguida, teniendo presente que el grueso ó espesor de las calderas para resistir el esfuerzo de una fuerza dada debe ser

si son de cobre................	3,
—— de hierro batido..........	2,
—— de hierro colado..........	12.

Su valor por libra en New York (1831),

Cobre............	34 cent.	6 rs.	27 mrs.
Hierro batido......	16	3	7.
Hierro colado.....	6	1	7.

Las densidades respectivas segun la tabla del art. 65,

Cobre...................	8878.
Hierro batido............	7788.
Hierro colado............	7207.

Del producto de estos tres elementos se deduce el valor relativo que sigue:

Cobre.....................	906.
Hierro batido.............	250.
Hierro colado.............	522.

Tomando el del hierro batido como unidad, tendremos

Cobre.................. 3'60.
Hierro batido........... 1'00.
Hierro colado........... 2'09.

206. Tambien debe tenerse presente otro punto importante, que es el valor del metal cuando las calderas se han inutilizado; y aunque es evidente que el cobre vale mas que los otros, si se atiende á su mayor costo primitivo, y á los intereses del dinero invertido, resultará que la pérdida será igual por lo menos á la que se sufrirá usando calderas de hierro batido.

207. Para determinar la figura mas conveniente que deben tener las calderas parece á primera vista que es necesario tener presente: 1.º La accion que produce el vapor: 2.º La diferencia de peso con relacion á la figura: 3.º La presion del fluido contenido: 4.º La accion del vapor para reventarlas. Examinando detenidamente estos cuatro puntos se conocerá que á escepcion del último, todos los demas son de poca importancia.

208. La accion de la caldera para producir el vapor depende de la cantidad de superficie espuesta al calor; y siempre que la estension de esta sea la misma, ni la figura de la caldera, ni la masa de agua que contiene influyen en aquella de modo alguno.

209. Las calderas estan espuestas á encorvarse por su propio peso; pero dando á la parte superior la figura de un arco, y apoyando perfectamente el fondo se evita este inconveniente, escepto en las de gran tamaño; y no hay duda de que el metal mas flexible es en este caso menos aparente que el que no lo sea. La presion del agua contenida obra tambien para alterar la figura de la caldera; y como esta fuerza depende del producto de la superficie por la altura del líquido, aumenta necesariamente con la altura de éste, y con la estension de sus lados; y en iguales

alturas del líquido la caldera cuya seccion sea circular resistirá la menor presion posible. Ambos inconvenientes pueden hacerse de muy poca importancia distribuyendo el agua en varias calderas en lugar de aumentar el tamaño de una sola. Ninguna de estas influencias puede compararse en su totalidad con el esfuerzo que ejerce el vapor formado dentro de la caldera, que tambien varía segun las distintas especies de máquinas, pues en algunas, como se esplicará mas adelante, el vapor se condensa, y la parte de él que se escapa de la caldera, obra contra el vacío que se forma por este medio. En semejante caso no puede tener el vapor una fuerza espansiva de mas intension que la de la presion atmosférica; y aquella por lo general rara vez escede este límite en mas de algunas pulgadas de mercurio. Las máquinas de esta clase se llaman de *condensacion* ó *presion baja*. En otras llamadas de *alta presion*, la fuerza elástica del vapor que se usa nunca baja de dos atmósferas, y con mucha frecuencia llega á cuatro ó cinco. Las calderas de las de la primera clase no necesitan ser generalmente de materiales de mucha tenacidad, ni es tampoco preciso darles la figura que proporciona la mayor resistencia; pero en las máquinas de alta presion es sumamente importante, no solo hacerlas de metal que tenga la tenacidad necesaria, sino darles la figura mas aparente para que no puedan ceder á la gran fuerza espansiva que deben resistir.

210. La figura mas propia para resistir el esfuerzo de la mayor fuerza espansiva es aquella en que todas las secciones son circulares; la esfera es el único sólido que tiene esta propiedad, y podria servir con mas ventaja en pequeños tamaños; pero presentando muy poca superficie á la accion del fuego seria necesario aumentar gradualmente y por igual todas sus dimensiones, ni se podrian colocar los tubos de calor para retener la llama; por consiguiente nunca se hacen calderas esféricas para máquinas de vapor.



211. Todas las secciones de un cilindro perpendiculares á su eje son tambien circulares, y por tanto presentan la mayor resistencia á las fuerzas que obran sobre ellas; pero si los estremos ó bases son planos serán comparativamente débiles. En Europa, en que estas calderas son de uso reciente, se dá á los estremos la figura de una seccion de esfera, haciéndolos de una pieza con el cuerpo del cilindro; pero en los Estados-Unidos donde se usan hace mucho tiempo, se fabrican aquellas de hierro batido, siendo los estremos superficies planas de hierro colado, de grueso suficiente para igualar la resistencia del otro metal, al que se empernan con firmeza.

212. La misma ley que afecta la resistencia de las calderas para aguantar el impulso de la fuerza interna espansiva, regula tambien la que opone á la presion esterna; y como las de figura esférica y cilíndrica resisten mejor que todas las de otras figuras el esfuerzo total producido por la condensacion del vapor que contienen, es evidente que cuando el tubo de calor pasa por dentro de ellas, es indispensable que sean cilíndricas.

213. De lo dicho en el art. 152 hablando de la accion del combustible se deduce, que el calor penetra en la caldera por radiacion de la masa de fuego, ó por el contacto directo de la llama y del aire calentado con su superficie: la cara esterior de la caldera recibe primero el calor que se propaga ó estiende en el metal por su propiedad conductriz, y calienta el agua que está tocando á la superficie interior, poniendo en movimiento todas sus partículas. Es pues evidente que la cantidad de agua contenida en la caldera no influye en la de vapor que puede formarse en un tiempo dado: todo lo necesario es que haya la suficiente para cubrir enteramente la superficie metálica interior; á cuya parte opuesta se aplica la accion del fuego. Por tanto la cantidad de combustible consumido, la estension



de superficie que se calienta, y la propiedad conductriz del metal de que está hecha, son los únicos elementos que entran en el cálculo de la cantidad de vapor que una caldera dada puede producir. Del resultado de muchos esperimentos prácticos se ha deducido que se necesitan seis pies superficiales de fuego para reducir á vapor un pie cúbico de agua en el espacio de una hora; pero como los tubos de calor comunicarán menos calor segun lo mas distantes que esten de la hornilla, la suma de las superficies de esta y de aquellos deberá ser de ocho pies para hacer evaporar uno cúbico de agua en una hora, tratándose de las máquinas de baja presion, pues en las de alta presion que no escedan de cinco atmósferas será de nueve.

214. Como la cantidad de vapor producido depende de la superficie de la caldera que está espuesta al calor, y como el ahorro de peso es ventajoso en muchos casos se ha propuesto el uso de una combinacion de tubos en lugar de calderas, los cuales presentarán mucha mayor superficie con respecto á su capacidad interior que los grandes cilindros; pues es una ley matemática que cuando las superficies de los cilindros de igual largo aumentan como los diámetros, su capacidad interior aumenta con los cuadrados de aquella dimension. Tambien puede conseguirse ahorro en el metal de que esten hechos los tubos, porque la resistencia de un tubo metálico para sufrir el esfuerzo que tiende á reventarlo, aumenta en razon inversa de su diámetro. Tambien se propuso colocar estos tubos de forma que los rodease la llama, é inyectando en ellos de cuando en cuando determinada cantidad de agua, se convertiria esta casi momentánea y totalmente en vapor: asi eran las primitivas calderas de Babcoek.

215. El primero de estos proyectos manifestó su ineficacia desde luego, y el segundo es absolutamente inaplicable, segun se deduce de las siguientes consideraciones:



1.ª La colocacion del cuerpo conductor en medio de la llama debe enfriar el gas de que se compone, disminuir la intension de la combustion, y la atraccion de la chimenea.

2.ª Cuando los tubos han adquirido el grado de calor conveniente y no pueden ya obrar enfriando la llama suficientemente, se deben acortar para permitir la entrada del aire en la chimenea, tan luego como llegue á bajar su temperatura á igualar la de los tubos, pues en el caso contrario en vez de calentarlos mas contribuirá á enfriarlos.

3.ª La principal objecion que hay que hacer á la última parte del proyecto se funda en un esperimento notable de Klaproth, que es como sigue: si en una cuchara de hierro pulido calentada hasta que adquiera el color blanco, se echa una gota de agua se dividirá esta en varias otras muy pequeñas, que se reunirán prontamente. Observando atentamente una de las nuevamente formadas se notará que adquiere movimiento giratorio, que disminuye progresivamente de tamaño y que por último estalla. La segunda y tercera gotas manifiestan igual fenómeno; pero la permanencia de las siguientes sobre el metal disminuye gradualmente segun se vá este enfriando. Una de las esperiencias dió el resultado que se espresa en seguida; y en las demas aunque la duracion de la permanencia de la gota sobre la cuchara fue diversa, siempre se verificó la misma ley.

La primera gota se mantuvo	40 segundos,
La segunda...............	20
La tercera...............	6
La cuarta...............	4
La quinta...............	2
La sesta...............	0.

216. Perkins ha observado lo mismo últimamente en el *generador* de su máquina: habiéndolo calentado hasta el

color rojo, estando vacío, hizo entrar en él agua; la fuerza elástica del vapor era muy poca al principio, pero fue aumentando rápidamente segun disminuia la temperatura del generador.

217. La esplicacion que se ha dado de este fenómeno es la siguiente: cuando se verifica no llega nunca el agua á ponerse en contacto con el metal, y cuando mas le toca en un solo punto, como lo manifiesta la figura esférica de la gota y su movimiento de rotacion: se forma desde luego una columna de vapor que se interpone entre la gota y la cuchara; pero como aquel es mal conductor, no comunica el calórico á ésta, cuya espansion, no estando en contacto con el metal, parece que es producida por la repulsion que ejercen los cuerpos incandescentes sobre los que estan mas frios. Esta última esplicacion se corrobora por otro hecho curioso observado por Perkins: adaptó á su generador, por medio de una abertura de un octavo de pga. de diámetro, un tubo de tres pies de largo y media pga. de calibre, provisto de un grifo ó llave; cargó la válvula de seguridad con un peso de unas 700 libras por pga. cuadrada, y habiendo enrojecido el generador, el vapor contenido abrió la válvula; y á pesar de estar abierta la llave del tubo, no salió por él el vapor hasta que la temperatura bajó considerablemente.

218. Parece pues que la rapidez de la evaporacion no aumenta con la temperatura de la vasija en que está contenida el agua; es probable que se verifica mientras ésta es capaz de humedecer el metal, lo que no puede tener efecto despues de llegar éste á adquirir el color rojo: verificado esto la rapidez de la evaporacion disminuye, conforme aumenta el calor.

219. Los tubos en que se introduce agua para convertirla en vapor tienen tambien otra desventaja, pues el depósito ó resíduo de material sólido que dejan casi todas



las aguas despues de su evaporacion, y que aumenta en razon directa de la impureza de éstas, se hace mas duro y compacto que cuando la caldera está casi llena de agua, y adhiriéndose con mas tenacidad al metal está éste mas espuesto á ser corroido.

220. Este método tiene sin embargo la ventaja de evitar todos los riesgos de esplosion, y hay algunos casos en que importa conseguirla aunque sea á costa del sacrificio de considerable cantidad de vapor.

221. Se ha propuesto en los Estados-Unidos y lo hemos visto practicar en muchos casos, adaptar al fondo de las calderas tubos que, comunicando con ellas por un estremo, tengan sumergido el otro en la llama, y lo mismo propuso Woolf en Inglaterra; pero esperimentos hechos últimamente han demostrado que semejante adicion no proporciona ninguna utilidad, y que si los tubos son de hierro colado corren el riesgo de romperse por consecuencia de los repentinos cambios de temperatura á que estan espuestos. Puede pues deducirse de todo lo dicho, como regla general, que lo mas conveniente es usar calderas cilíndricas de un pie por lo menos de diámetro, que tubos de menores dimensiones, bien sea solos ó con comunicacion con otros mayores.

222. Hemos establecido (art. 209) que el esfuerzo mas importante que tienen que resistir las calderas, y singularmente las de las máquinas de alta presion, es el que produce la enérgica espansion del vapor: la accion de esta fuerza contra las paredes interiores de un cilindro es proporcionada á la del mismo vapor y al radio del cilindro, y la resistencia que opone la fuerza cohesiva del metal. Si los estremos de aquel son semiesféricos y su radio igual al del cilindro, el esfuerzo que obra sobre una superficie dada es igual al que obra sobre las paredes de aquel.

223. Cuando los estremos son planos y de hierro co-

lado, que es como se usan en los Estados-Unidos, debe calcularse su resistencia considerándolos como una palanca cargada con igual peso en todo su largo, y sostenida por los estremos; la fuerza que debe romperla será proporcional al producto de la raiz cuadrada de la presion, multiplicada por el cuadrado del diámetro.

224. El peso absoluto que puede resistir sin romperse una pga. cúbica de los metales que generalmente se usan, es el siguiente:

Barra de hierro batido.......	64.000 libras.
Plancha de id................	57.000.
Hierro colado................	19.000.
Cobre en plancha...........	40.000.

225. No basta sin embargo que las calderas no puedan reventarse por la accion de la fuerza espansiva, sino que es necesario tambien que no se altere su figura, ni que se aventen los pernos que la sujetan; y asi resulta que el valor de los materiales arriba indicados está mucho mas próximo del que se deduciria de sus resistencias, pues una pga. cúbica de hierro colado resistirá sin variar de figura el esfuerzo de 15.300 libras, y solo 17.800 siendo de hierro batido.

226. La variacion de figura que cada metal puede resistir sin romperse es tambien muy diferente: en el hierro colado los límites de la espansion y fractura estan muy inmediatos; el batido se estiende antes de romperse $\frac{1}{10}$ ó $\frac{1}{20}$, y el cobre hasta $\frac{2}{5}$ de sus primitivas dimensiones; y es necesario tambien tener presente la propension que tienen á romperse en las repentinas mudanzas de temperatura, que es mucha en el hierro colado, muy poca en el batido, y nula en el cobre. Tomando pues en consideracion cuanto se ha dicho, se ha deducido la resistencia de estos metales del modo siguiente:

Hierro batido............... 9.000 libras.



Cobre..................... 6.000.

Hierro colado............... 3.000.

Siendo la primera de estas cantidades próximamente la mitad del esfuerzo que el hierro batido puede resistir sin variar de figura, las otras dos manifestarán la razon aproximada, en cantidades absolutas, en que estan sus resistencias respectivamente.

227. Debe tambien considerarse que las tenacidades asignadas se han deducido de esperimentos hechos estando los metales frios, y que algunas veces sucede que varias partes de las calderas llegan á enrojecerse. Por otras esperiencias se ha calculado que la disminucion de aquella propiedad que sufren, cuando llegan á calentarse hasta el color rojo, no escede de la sesta parte de la que poseen á la temperatura ordinaria.

228. Para determinar el grueso de las planchas de que han de hacerse las calderas cilíndricas, obsérvese la regla siguiente:

Multiplíquese el radio en pgs, por la presion de una pga. cuadrada en libras; pártase el producto por la cantidad que representa la resistencia del metal indicada arriba, y el cuociente será el grueso en pgs.

229. El grueso de los estremos ó cabezas se halla en la forma que sigue:

Cuando son del mismo metal que el cilindro, y semiesféricos, *grueso y medio* de las planchas de aquel; si tienen la figura de una parte de esfera, cuyo radio sea igual al diámetro del cilindro, *igual grueso*; y en el caso de ser desiguales el diámetro y el radio, *se multiplica éste en pgs. por la presion en libras, y se parte el producto por la fuerza cohesiva del metal.*

230. Si las cabezas son de hierro colado *se multiplica la presion de cada pga. cuadrada en libras por el cuadrado del diámetro en pgs.; se divide el producto por el du-*

plo de la fuerza cohesiva del metal, y la raiz cuadrada del cuociente es el grueso de aquellas en pgs.

231. Estas son las reglas deducidas de la teoría que vamos á comparar, suponiendo la presion de 100 libras por pga. cuadrada, con la práctica seguida por los mejores maquinistas de los Estados-Unidos para hacer calderas cilíndricas de plancha de hierro batido, con cabezas de hierro colado.

DIAMETRO DEL CILINDRO.	GRUESO DE LAS PLANCHAS DE HIERRO.		GRUESO DE LAS CABEZAS DE HIERRO COLADO.	
	Calculado pgs.	Usado pgs.	Calculado	Usado pgs.
18 pgs....	0'1000.	0'1875.	»	
24.......	0'1333.	0'1875.	»	1'25.
30.......	0'1667.	0'2500.	»	1'25.
36.......	0'2000.	0'2500.	»	1'50.
42.......	0'2333.	0'2500.	»	1'50.

232. El trabajo de doblar y amoldar las planchas gruesas es tan grande, y las imperfecciones de las de hierro aumentan tanto con su espesor, que se ha establecido por regla general que el diámetro de las calderas cilíndricas para máquinas de alta presion no esceda de 30 pgs. Tiene aquella sin embargo sus escepciones, cuando se trata de las de barcos de vapor y locomotores de caminos de carriles de hierro, que generalmente tienen colocados los tubos de calor por dentro de las calderas.

233. En semejantes casos las mismas razones que han hecho adoptar la figura cilíndrica para las calderas, obligan tambien á que la tengan igual los tubos de calor; y se seguirán reglas idénticas para calcular el espesor ó grueso de las planchas de estos. En todos los demas casos es preferible aumentar el número de calderas que su diáme-



tro, y aun en los de que se trata no podemos menos de manifestar nuestra opinion, de que no es posible que haya jamas necesidad de que los tubos de calor pasen por dentro de las calderas.

234. El procedimiento de aumentar el número de las calderas en vez de hacerlo con el diámetro de una sola, tiene tambien la ventaja de la disminucion del peso del agua: porque si se aumenta el diámetro, siendo el mismo el largo del cilindro, aumentará la cantidad de agua necesaria con el cuadrado de aquel, mientras que la superficie espuesta al calor aumenta tan solo como el diámetro. Un cilindro de doble diámetro necesitará doble cantidad de agua que dos separados, y no puede producir sino igual cantidad de vapor.

235. De todo lo dicho se infiere

1.º Que la plancha de hierro batido es el mejor material conocido para hacer las calderas.

2.º Que la figura mas aparente de estas, en todos los casos comunes, es la cilíndrica.

3.º Que cuando haya de usarse el agua del mar deben ser de cobre las calderas, pues es el único de los tres metales que resiste á la accion de los resíduos salinos.

236. En las máquinas de baja presion rara vez son cilíndricas las calderas, á pesar de que aun para ellas son convenientes; la figura que tienen generalmente es la que resulta de la diminucion del rectángulo de su seccion transversal, describiendo un arco de círculo sobre el lado superior y tres curvas en los tres restantes, de forma que resulte la convexidad á la parte esterior; el lado inferior se espone á la accion del fuego, y los dos laterales dejan espacio suficiente para que salgan los tubos de calor por la parte esterna de la caldera. (Lám. 1. fig. 2).

337. Despues de poner en ellas el agua necesaria es

preciso atender á reemplazar la que se convierte en vapor; lo que se consigue de dos modos: el primero lo ejecuta el maquinista aumentando la cantidad de aquella de cuando en cuando, y siempre que llega á una altura; y el segundo lo verifica un aparato que obrando por sí mismo, mantiene siempre el agua en una misma altura. En el primer caso es necesario que el que cuida de la máquina pueda conocer á cada instante el nivel que tiene el agua dentro de la caldera, y aunque el mecanismo que sirve para este objeto no es indispensable cuando el reemplazo se verifica por otro, movido por la elevacion que tiene el agua, es no obstante muy útil para la operacion y por tanto deberia ponerse á todas las calderas.

238. La invencion mas antigua y general para el objeto de que se trata consiste sencillamente en dos grifos ó llaves, colocados en el estremo de dos tubos cortos que salen de la caldera, uno por debajo del nivel establecido, y el otro por encima; si al abrir el primero sale vapor, claro es que hay menos agua de la que debe haber, y es necesario aumentarla al instante; y si abriendo el segundo sale agua, no debe quedar duda de que aun hay mas de la suficiente. Estos tubos pueden colocarse horizontalmente en los lados laterales de las calderas de las máquinas en que la fuerza elástica del vapor es poco mayor que la presion atmosférica; pero en las de alta presion salen verticalmente de la parte superior de aquellas, y despues se doblan tomando la posicion horizontal. (Lám. 1. fig. 5 y 6).

239. El mejor de todos los aparatos para todos los casos en que puede emplearse, se compone de un tubo recto de cristal abierto por ambos estremos, que se colocan en dos receptáculos cilíndricos, que comunican por un lado con la parte interior de la caldera; el tubo está pegado á los receptáculos, y el agua que contiene éste indica la altura de la contenida en la caldera; pero este mé-



todo tan sencillo no puede usarse en las de alta presion, porque no es posible adaptarles ningun tubo que no sea de cobre.

240. Tambien puede adaptarse este tubo á la caldera haciéndolo de la figura de los cañones de órgano, y colocando su estremo inferior de modo que llegue al punto del que no debe permitirse baje el nivel del agua; luego que esto sucede se escapa el vapor por el tubo, y el ruido que hace avisa de la necesidad que hay de aumentar agua; pero no es aplicable á las calderas de alta presion, porque sería necesario que fuese el tubo de incómodo tamaño.

241. Se toma un cuerpo conveniente y de menos densidad que el agua y se hace comunicar con uno de los estremos de una palanca, colocada en equilibrio fuera de la caldera, por medio de un alambre que pasa por dentro de una caja á prueba de vapor; de manera que estando el agua en el nivel señalado y aquel flotando en su superficie, conserva la palanca la posicion horizontal, por medio de un contrapeso colocado en el otro estremo; de forma que cuando el agua baja, lo ejecuta el cuerpo flotante y se inclina la palanca hácia aquel lado, sucediendo lo contrario cuando sube: el desvio de la palanca de la posicion horizontal puede indicarse por medio de un índice colocado perpendicularmente en el centro de movimiento.

242. La caldera puede recibir el reemplazo del agua evaporada indicado por los aparatos antedichos por diversos medios, que deben variar segun la fuerza elástica del vapor: cuando la fuerza de éste es poco mayor que una atmósfera un tubo sencillo, cuyo estremo superior tenga figura de embudo, será suficiente; pero debe entrar en la caldera al través de un dado unido á ella con solidéz hasta muy cerca de su fondo, y tener la elevacion conveniente para contener una columna de agua equivalente al



esceso del poder del vapor sobre la presion atmosférica. Conservando éste constantemente su elasticidad tiene el agua dentro del tubo siempre la misma altura sobre el nivel de la que está dentro de la caldera, y lo conserva cuando el agua que pasa por él corre á unirse con la que contiene aquella: si hubiese de adaptarse este tubo á las calderas de alta presion deberia tener un largo muy incómodo, y es por tanto necesario valerse de otro aparato.

243. El mas sencillo de todos se reduce á una vasija esférica unida á la caldera por su parte inferior, por medio de un tubo provisto de su llave, con un embudo en la superior, que tiene tambien llave; se cierra la llave baja y se llena la vasija por el embudo, cerrando su llave en seguida, y cuando se conoce que la caldera necesita agua se le dá abriendo la baja. La accion alternativa de las dos llaves impide en primer lugar que se escape el vapor, y que ostruya la entrada del agua; y en segundo permite á ésta entrar en la caldera, ocupando aquel el vacío que ésta deja. (Lám. 2. fig. 2).

244. La accion de un aparato de esta especie puede facilitarse haciendo dos conductos paralelos al través de cada una de las llaves, dispuestos de modo que comuniquen, cuando estan estas abiertas respectivamente, con unos tubos que van desde cada una de las llaves hasta llegar muy cerca de la parte opuesta de la esfera; de modo que cuando se abre la superior, entra el agua por el tubo, y el aire ó vapor contenido se escapa por el otro conducto de la llave; y cuando se abre la inferior corre el agua por el conducto que no tiene tubo, y por éste sube el vapor á reemplazar aquella.

245. Tambien puede usarse para el objeto de que se trata de una bomba impelente, cuyo émbolo debe tener mucha mas potencia que la fuerza elástica del vapor, y estar provista de una válvula por medio de la cual en-



tra el agua en la caldera, ó se deja salir segun acomoda. (Lám. 4, fig. 6).

246. Es mucho mas conveniente que en todos casos el aparato de reemplazo de agua obre por sí mismo, ó hablando con mas propiedad, proceda en sus operaciones segun el nivel del agua contenida en la caldera, lo que puede conseguirse con poca dificultad en las máquinas de baja presion. El mas sencillo de todos, y que tambien es aplicable á las de alta presion, se reduce á una boya que flota en la superficie del agua, y está unida á uno de los brazos de la llave del tubo de reemplazo, por cuyo medio se abre ésta cuando la boya baja, y se cierra en el caso contrario. En las máquinas de baja presion puede unirse á un tubo de suficiente largo para contener una columna de agua equivalente al esceso de la fuerza del vapor sobre la de la atmósfera; pero en las de alta presion debe adaptarse al cañon que viene de la bomba impelente.

247. Este método tiene el inconveniente de estar sujeto á descomponerse, y como no está al alcance ni á la vista del que maneja la máquina, puede faltar cuando menos se espere; pero es facil evitarlo disponiendo el aparato de manera que la boya flotante dé movimiento á una válvula cónica, por medio de una vara y una palanca.

248. Puede tambien disponerse un aparato flotante por el estilo de los descritos antes para indicar la elevacion del agua de las calderas, que sirva para reemplazar la de las de baja presion, colocando el centro de la palanca (art. 241) en el eje de una llave, á quien se une en el brazo de la palanca que lleva el peso (Lám. 2, fig. 8.): se coloca por medio de una pieza movible una válvula cónica, que cierra exactamente el orificio de un pequeño depósito que comunica con la caldera por medio de un tubo, cuyo estremo inferior debe llegar casi á tocar el fondo de

la caldera; por cuyo medio cuando la boya flotante baja con el nivel del agua, se abre la válvula, cerrándose cuando sube. Otra aplicacion del mismo principio está representada en la Lám. 11, fig. 3; el cuerpo flotante es mas ligero que el agua, y se evita el rozamiento de la caja á prueba de vapor.

249. El reemplazo del agua en las calderas de alta presion, segun se ha dicho antes (art. 246), se ejecuta por medio de bombas impelentes (Lám. 4, fig. 6). El émbolo empuja un caño de agua á un tubo provisto de dos válvulas ó llaves, que obran alternativamente: abriéndose la primera entra el agua en la caldera sin oposicion, y la segunda sirve para derramarla. Este aparato está generalmente manejado por el maquinista, porque el mecanismo que obrase por sí solo sería precisamente muy complicado; sin embargo puede formarse idea de uno (Lám. 2, fig. 1.) inventado por Mr. Franklin, y premiado con la medalla de la Sociedad Británica de artes.

250. Todos estos aparatos de reemplazo deben estar dispuestos de modo que den mucha mas agua que la que generalmente se evapora, y por lo comun tienen la actividad necesaria para dar cinco ó seis veces mas; pues es infinitamente mejor que sobre y se deje salir, que correr el riesgo de esponerse á no tener siempre repuesto abundante.

251. Facil es conocer que todavia no ha llegado á descubrirse el modo de disponer el aparato de reemplazo movido por sí mismo para las máquinas de alta presion. En los barcos de vapor y locomotores de caminos de carriles de hierro, es casi indispensable para evitar el riesgo de una esplosion, pues á su falta se atribuyen todas las desgracias de esta clase que han ocurrido.

252. El reemplazo constante de agua es no solamente necesario para conservar el mismo nivel de la que contiene la caldera, sinó que es sumamente importante para

la seguridad de ésta; y aunque se ha indicado ya (art. 226) cuanto tiene relacion con la resistencia de los metales, trataréмos ahora del modo de probar las calderas antes de ponerlas en uso, que no puede escusarse aun cuando se hayan tomado todas las precauciones imaginables, para asegurarse de la exactitud de los ajustes, fuerza del metal, y abundancia del reemplazo del agua.

253. Esta operacion es indispensable porque manifiesta defectos que no haciéndola sería imposible conocer, particularmente en los ajustes ó uniones del cobre y hierro batido; siendo sabido que el colado suele tener cavidades interiores que no es posible conocer por fuera, y estos defectos pueden hacer reventar las calderas con violencia si se espusieran á la accion del vapor antes de tener seguridad de su completa resistencia.

254. La primera prueba llamada de agua, se ejecuta por medio de esta y de la prensa hidráulica de Bramah, cuyos principios se han esplicado en el art. 52. Esta operacion es todavia imperfecta por cuanto debe practicarse con agua, que si no está fria, no puede llegar á adquirir el calor que algunas partes de la caldera deben tener que sufrir despues.

255. Se ha propuesto hacer esperimentar á las calderas una presion cinco ó seis veces mayor que la que deben resistir; pero esta precaucion no es suficiente, pues se ejecuta siempre con agua fria, y ya hemòs visto (art. 52) que los metales tienen mas tenacidad en este estado que cuando estan calientes. La razon de seis á uno es por lo menos necesaria antes de igualar aquella diferencia, y si las calderas no sufriesen antes de servir semejante prueba, pudiera suceder que se reventasen antes que el calor que esperimentasen fuese suficiente para hacer abrir la válvula de seguridad.

256. La segunda prueba se ejecuta haciendo esperi-



mentar á la caldera, por medio del vapor, doble presion de la que debe resistir por el que se forma en ella antes de que se abran las válvulas de seguridad. En Francia está dispuesto por las leyes que todas las calderas de las máquinas de alta presion sufran una prueba de resistencia cinco veces mayor que aquella que deben esperimentar en la práctica.

257. Ademas de estas pruebas es necesario que todas las calderas esten provistas de válvulas de seguridad; estas son cónicas ó cilíndricas, se colocan dentro de un hueco de la misma figura, y se cargan con un peso igual á la mayor presion que, segun se ha calculado, ha de esperimentar la caldera por la fuerza espansiva del vapor que se forma en ella: si aquella llega á ser mayor se abre la válvula y permite la salida de éste, y en todas las temperaturas inferiores permanece cerrada herméticamente.

258. Tres puntos hay que calcular para la mejor disposicion de las válvulas de seguridad, que son primero el diámetro de su abertura; segundo el peso con que han de cargarse, y tercero y último el modo mas ventajoso de colocarlas.

259. Las aberturas deben tener el diámetro suficiente para permitir la salida de todo el vapor que contenga la caldera, y éste puede calcularse teniendo presente que un pie cúbico de agua se convierte en vapor en una hora, por cada ocho ó diez pies de superficie de la caldera y del tubo de calor que se esponen al fuego. Pero como cuando llegue á necesitarse será probablemente por consecuencia de haberse aumentado mucho la accion del fuego, será bueno disponerla de modo que dé salida al cuádruplo de aquella cantidad; esto es, al vapor producido por un pie cúbico de agua evaporada por cada dos pies de superficie de fuego, que es la mayor cantidad de vapor que puede producir en todos los casos.



260. El vapor se escapará con una velocidad dependiente de su fuerza elástica, y esta última aumentará con menos rapidez que aquella. La tabla siguiente manifiesta la velocidad producida por varias fuerzas espansivas.

Fuerzas espansivas.	*Velocidad en un segundo.*
$1\frac{1}{4}$ atmósferas	873.
$1\frac{1}{2}$	1.145.
$1\frac{3}{4}$	1.296.
2	1.405.
3	1.548.
4	1.663.
5	1.725.
6	1.785.
8	1.852.
10	1.993.
12	2.029.
14	2.058.
16	2.072.
18	2.084.
20	2.098.

261. De la cantidad que resulta multiplicando estas velocidades por el area de la abertura á que se adapta la válvula, debe rebajarse una fraccion constante, que representa la seccion de la *vena contracta* en los fluidos (arts. 58 y 59), que en un orificio como el de que se trata, es próximamente 0'75.

262. Para determinar pues la cantidad de vapor que saldrá por una válvula de seguridad dada, debe *multiplicarse las tres cuartas partes de su circunferencia por la velocidad de la fuerza espansiva correspondiente*, y cuando se conoce la cantidad de vapor que sale por una válvula de seguridad, operando inversamente se tendrá el area de esta. La masa de vapor producida por la evaporacion de



una cantidad dada de agua, se conocerá multiplicando la masa ó solidez de esta por la cantidad que representa el volúmen del vapor de aquella temperatura en la tabla del art. 109.

263. El peso con que ha de cargarse la cara superior de una válvula de seguridad será igual á la presion que el vapor, á la máxima temperatura calculada para la resistencia de la caldera, ejerce sobre la cara inferior. Cuando se haya calculado la fuerza espansiva del vapor en atmósferas de 15 lbs. por pga. cuadrada, *se resta una del producto*, porque la presion de la atmósfera se opone á la salida del vapor, obrando asi como parte del peso con que se carga la válvula de seguridad; por consiguiente para calcular el peso se procederá del modo siguiente:

264. *Multiplíquese el area de la válvula de seguridad en pgs. cuadradas, por 15 veces el número de atmósferas, que es equivalente á la fuerza espansiva del vapor á la temperatura dada; réstese una del producto, y el resíduo será el peso en libras.*

265. Este peso obra muchas veces sobre una palanca de segunda clase, por cuyo medio se aumenta la presion; y como la regla anterior da la que debe obrar sobre la válvula de seguridad, debe disminuirse el contrapeso suspendido por la palanca, en la misma razon que el largo total de esta es mayor que la distancia que hay entre su punto de apoyo y la válvula de seguridad.

266. El número de atmósferas á que es igual la fuerza espansiva del vapor á diversas temperaturas, puede deducirse por la tabla inserta en el art. 108.

267. Al tiempo de abrir la válvula de seguridad ú otro cualquier orificio por donde sale el vapor, se nota el fenómeno singular de que su temperatura junto al punto de la salida es tanto mas baja cuanto mayor es la tension del vapor dentro de la caldera; asi pues cuando el agua que



contiene esta no pasa de 212 grados, aquel abrasa la mano; pero si tiene dentro una tension de varias atmósferas se puede sufrir su accion sin peligro. La causa de esta propiedad nace de la rápida dilatacion del vapor denso, y del consiguiente aumento de su disposicion para adquirir calor específico, y cuanto mayor sea la tension y la consiguiente densidad del vapor, tanto mayor será la diminucion de temperatura.

268. La figura de las válvulas de seguridad es generalmente la de un cono truncado, dispuesto para adaptarse á un hueco ó asiento de igual figura, y ó tienen el peso que las sujeta en sí mismas, ó las oprime una palanca, segun se ha esplicado (art. 265): en el primer caso el peso puede estar pendiente de la válvula dentro del cilindro, ó bien gravitando sobre su superficie esterior. Las válvulas de esta especie producen una presion constante, y deben calcularse de forma que cedan á la de la temperatura mas alta que puedan resistir. Cuando obran por medio de una palanca, la presion del peso colocado en el estremo de ella debe ser igual á la misma tension máxima; pero si se le hace obrar cerca del punto de apoyo, su accion puede disponerse de forma que equivalga á la fuerza espansiva del vapor en temperaturas bajas. Las primeras son mas convenientes en los casos en que la direccion y manejo de la caldera está á cargo del maquinista; y las segundas, como obran por sí solas, pueden estar encerradas y fuera de su alcance.

269. En la lámina primera estan representadas varias clases de válvulas de seguridad. La fig. 10 es una válvula cónica cuyo peso está suspendido por su parte inferior dentro de la caldera; la fig. 11 es tambien cónica, y tiene el peso encima, fuera de aquella. La fig. 12 es tambien de la misma forma, y el peso que la oprime está encerrado dentro de un cilindro, de modo que puede cerrarse sin in-

tervencion de los atizadores. La fig. 13 manifiesta una válvula de seguridad cilíndrica que obra dentro de un tubo, y se sujeta por medio de un muelle, de modo que cuando la presion del vapor sobrepuja á la accion del muelle, se van descubriendo sucesivamente las aberturas laterales, y la facilidad de la salida de este aumenta segun aumenta su tension. La válvula de seguridad sujeta por medio de la palanca y contrapeso, esta representada en la lámina 2. fig. 7.

270. Todas las calderas deben tener siempre dos válvulas de seguridad, una para que la maneje el atizador ó el maquinista, y la otra que estará dispuesta para abrirse á la máxima presion calculada, deberá estar encerrada; porque muchas desgracias que han ocurrido han sido causadas por estar las válvulas al cuidado de aquellos, los cuales, asi como los capitanes de los barcos de vapor, han cometido el yerro de aumentar la presion de este mas de lo que la caldera es capaz de resistir. La mejor colocacion es en la parte superior de la caldera; y cuando son dos una en cada estremo, de modo que la que haya de manejar el atizador esté cerca del fuego, y la reservada lo mas distante que sea posible. Cuando la caldera tiene en su parte superior la abertura por donde se entra á limpiarla, suele colocarse en la tapa de esta la válvula de seguridad.

271. Por consecuencia de un suceso notable observado recientemente, se han suscitado muchas dudas sobre la eficacia de la accion de las válvulas de seguridad. Cuando el aire se comprime fuertemente en un tubo ó vasija, del que se deja salir por un orificio abierto en una superficie plana, y se presenta á muy poca distancia de este la superficie tambien plana de un plato, disco, ó cosa semejante, lejos de ser rechazado lo atraerá á corta distancia del orificio; y se observará que el aire se escapa tomando la figura de un cono muy obtuso por las orillas del disco, y



formando un vacío de figura cónica por la base; y por consecuencia del bien conocido hecho de que hay una comunicacion lateral de movimiento desde la corriente de un fluido á las porciones inmediatas del mismo ó de otros fluidos, el aire que está encima del disco corre á unirse con el que sale del orificio, de forma que el vacío por abajo y la corriente de aire por arriba, se unen, y mantienen el disco á una misma y pequeña distancia de la superficie plana en que está abierto el orificio; del mismo modo se escapa el vapor. Sin embargo, cuando las válvulas de seguridad cónicas son delgadas, no hay motivo para temer riesgos producidos por aquella causa: en las de la figura ordinaria la mayor resistencia ocasionada por este motivo, no escederá de $\frac{1}{20}$ de una atmósfera, ó unas doce onzas sobre cada pga. cuadrada; pero si la válvula tiene la forma de un cono truncado cuya altura es proporcional al tamaño de la abertura, la resistencia puede llegar á ser enorme; y en algunos esperimentos que se han hecho se ha hallado que pasa de treinta atmósferas.

272. Por mas esmero con que hayan sido construidas las válvulas de seguridad sucede que algunas veces se entorpece su uso por causa del óxido que se forma en el asiento y las adhiere; se verifica esto con mas facilidad si pasa algun tiempo sin abrirlas, y aun con las que estan en uso conviene abrirlas de cuando en cuando, porque si se deja pasar una semana sin hacerlo no debe contarse con su accion.

273. Las calderas grandes de poca resistencia que son las que sirven para máquinas de baja presion, estan espuestas á un riesgo opuesto; porque cuando se apaga el fuego el vapor que contienen se condensa y forma un vacío parcial, sobre el cual obra la presion de la atmósfera, que puede llegar á aplastarlas. Para evitar este peligro se ha propuesto adaptar una válvula de aire de figura cónica, que



se abra hácia adentro, y que esté sujeta por un contrapeso ó muelle de poca fuerza: cuando la resistencia de este es poco mayor que el peso de la válvula, es evidente que se mantendrá aquella en su lugar, mientras la tension del vapor que está dentro de la caldera esceda á la de la atmósfera; pero cuando esta sea mayor abrirá la válvula, y permitirá la entrada del aire.

274. Para evitar todo riesgo aun cuando las válvulas de seguridad se entorpeciesen por algun accidente, conviene tener los medios de conocer á cada momento la fuerza elástica del vapor dentro de la caldera: los aparatos que se usan para conseguirlo se llaman *atmósmetros* (1), y el mas sencillo de todos se compone de un tubo doblado de modo que sus dos brazos sean paralelos. Uno de estos está abierto, y el otro se dobla y hace entrar en la caldera por la parte superior del nivel del agua ó del tubo del vapor, y se suelda y une de modo que no pueda escaparse este por la union: para que tampoco salga por el tubo, se pone en este la cantidad de mercurio necesaria para llenar la curva, y algunas pulgadas mas en ambos brazos. Cuando la fuerza espansiva del vapor es igual á una atmósfera, el mercurio tendrá la misma altura en aquellos, y conforme vaya aumentando bajará el nivel del que está inmediato á la caldera, y subirá el del otro; y la suma de las dos variaciones de nivel será la medida de la fuerza espansiva del vapor en pulgadas de mercurio.

275. Como las variaciones del nivel de este es igual en ambos lados del tubo, es suficiente medirlas en el esterior, y se consigue por medio de una escala lateral, si el tubo es de cristal, y colocando una regla flotante sobre el mer-

---

(1) En ingles *steam-guage*, ó medida del vapor, y se ha formado su equivalente de las dos voces griegas ατμὸς, *atmos*, vapor, y μετρο, *metro*, medida.



curio dentro de aquel cuando es de hierro; cuyo estremo superior quedará igual con el del tubo cuando las dos columnas de aquel esten niveladas. La graduacion se coloca en la regla, haciendo las divisiones de media pulgada correspondiendo cada una al duplo de esta cantidad, que es la trigésima parte de una atmósfera, ó media libra por cada pulgada cuadrada de superficie á mas de una atmósfera. Si las divisiones de la regla son pulgadas, cada una de ellas equivaldrá á una libra de la presion interna que gravita sobre el peso que contiene á la válvula de seguridad: la fig. 7, lámina 1, representa uno de estos atmósmetros.

276. Alargando los dos brazos del tubo, haciéndolo de materia mas sólida, y aumentando la cantidad de mercurio podria servir este aparato para indicar cualquier fuerza del vapor; pero no es conveniente medirla por este medio cuando es considerable, usándose para este caso una planchita de hierro que flota sobre el mercurio en el lado abierto del tubo, la cual estando unida por medio de una cuerda pasada por una roldana á un contrapeso, el ascenso ó descenso de este señalará en una escala lateral la diferencia del nivel, por el mismo principio que la regla flotante.

277. Un tubo recto que llegue cerca del fondo de una caja ó receptáculo cerrado, que comunica por la tapa con el vapor de la caldera, y que contenga una cantidad proporcionada de mercurio, puede igualmente servir para el objeto de que se trata: si la superficie de la caja es proporcionalmente mayor que el area del tubo, puede despreciarse la variacion de nivel dentro de ella, y la altura del mercurio que contiene éste se medirá en pulgadas. Lámina 1, fig. 8.

278. El atmósmetro puede hacerse de modo que sirva de válvula de seguridad adicional, construyéndolo de modo que su altura no esceda á la de la columna de mercurio

que ha de señalar la presion máxima para que está calculada la resistencia de la caldera, y ensanchando el estremo superior del tubo lo suficiente para darle figura de embudo, de tamaño proporcionado para contener la cantidad de mercurio necesaria: la fig. 8, Lám. 1, representa un aparato de esta especie, y la disposicion de la pieza de hierro flotante y del contrapeso que corre á lo largo de la escala.

279. Los atmósmetros para las calderas de alta presion pueden disponerse sumergiendo el estremo inferior de un tubo de cristal dentro de un receptáculo de mercurio, encerrado en una caja que comunica con la caldera; el estremo superior del tubo está cerrado y lleno de aire atmosférico, que es comprimido por el mercurio cuando el vapor obra sobre la superficie de este, y como el espacio que aquel ocupa está segun la ley establecida en el art. 106, en razon inversa de la presion, es claro que podrá indicarse por su medio la tension del vapor. La fig. 8, Lám. 1, representa un atmósmetro de esta clase.

280. Para los casos en que el fuego llega á ser mas intenso de lo necesario para producir la cantidad de vapor de la temperatura y presion convenientes, se ha inventado un aparato que modera el aumento de la fuerza elástica de éste que se comunica al vapor, y se le dá el nombre de *apagador*, *que obra por sí mismo*: hasta ahora no se ha usado mas que en calderas que contienen vapor de tan poca elasticidad que puede reemplazarse el agua consumida por medio de un tubo abierto como el descrito (art. 242).

281. El nivel del agua contenida en este tubo se mantiene mas alto que el de la que encierra la caldera por consecuencia de la diferencia que hay entre la fuerza elástica del vapor y la presion atmosférica; y una plancha de hierro que corre por una abertura ó corte vertical que



hay en la boca de la chimenea, está unida á un cuerpo que flota en la superficie del agua del tubo de reemplazo, por medio de una cuerda pasada por roldanas, de manera que cuando se eleva el cuerpo flotante con el nivel del agua por la accion aumentada del vapor, baja el apagador; y si aquel baja subirá éste; y aumentando en el primer caso la atraccion de la chimenea, y disminuyendo en el segundo, será consiguiente la alteracion del calor. La fig. 1, Lám. 1, representa uno de estos aparatos unido á la caldera: *n* es el cuerpo flotante, y *o* la roldana.

282. Ademas del apagador movido por sí mismo, debe haber otro que se maneja á mano cuando el caso lo requiere, con el objeto de que el atizador pueda regular el combustible del modo mas conveniente; siendo al intento capaz de abrirse y cerrarse facilmente la abertura por donde recibe el aire el cenicero: el aparato necesario para conseguirlo con sus válvulas y puertas se llama *registro.*

283. Las calderas estan tambien espuestas á otros peligros que no pueden precaver ni las válvulas de seguridad, ni los apagadores, ni que tampoco los indican los atmósmetros. No debe quedar duda de que la temperatura y la tension del vapor tienen recíproca y constante relacion; pero puede llegar el caso de que éste despues de formado, adquiera temperatura alta sin ejercer fuerza espansiva proporcionada: asi sucederá siempre que una parte de la caldera adquiera mas calor que el agua contenida en el resto de ella, por no estar cubierta de ésta; y el vapor recibirá entonces un esceso de calor, sin aumentar proporcionalmente la elasticidad. En esperimentos hechos por M. Perkins llegó á calentarse el vapor en términos que si hubiese aumentado la densidad proporcionalmente, habria llegado á ejercer una fuerza de 56.000 libras. El origen de esta enorme diferencia es muy obvio, pues estan-



do encerrado aquel en una vasija separada, y no disminuyendo de volúmen, tampoco aumentó de densidad: si en tal estado se hubiese inyectado una pequeña cantidad de agua calentada bajo la presion de alta temperatura, puede creerse que el vapor hubiera adquirido la densidad necesaria para obrar con arreglo á la suya, como lo demostró Perkins por el siguiente esperimento práctico. Hizo calentar agua hasta la temperatura de 900 grados en uno de sus generadores, cuya válvula de seguridad estaba cargada de un peso equivalente á 60 atmósferas; hizo preparar y calentar un recipiente, vacío de vapor y de aire; y cuando lo estuvo á mas de 1.800 grados, dió entrada en él á una pequeña cantidad del agua del generador, que instantáneamente se convirtió en vapor, cuyo calor fue suficiente para inflamar el cáñamo de que estaba forrado el tubo á la distancia de diez pies del generador; habiéndose calculado por tanto que su temperatura no bajaria de 1.400 grados; pero á pesar de ser ésta tan elevada, y de haberse formado el vapor en ella, no escedió su presion de cinco atmósferas. Despues se inyectó mas agua, y aunque la temperatura fue bajando, la fuerza elástica fue aumentando tambien hasta 100 atmósferas. Este fenómeno puede darnos á conocer la causa de muchas esplosiones, imposibles de esplicar por cualquier otro principio.

284. Si suponemos que se disminuye ó anula el reemplazo del agua, el nivel de la de la caldera debe bajar, dejando descubiertas ó en seco algunas partes espuestas á la accion del fuego: estas partes adquirirán una temperatura mucho mayor que la del agua que está debajo, por cuya causa se calentará el vapor lo suficiente para que aparezcan luminosas otras partes de la caldera; y si por cualquier accidente llega el agua á ponerse en contacto con éste y con las superficies mas calientes de la caldera, se convertirá instantáneamente en vapor de gran fuerza



espansiva, y en tal cantidad que las válvulas de seguridad no siendo suficientes para darle salida, el resultado será la esplosion inmediata.

285. El agua puede ponerse en contacto con las partes calientes de la caldera, ó con el vapor, á alta temperatura, por los mismos medios que en otros casos se marcan para disminuir el peligro; pues si se abre la válvula de seguridad ó la de *comunicacion*, el agua que hervia sosegadamente en la caldera se eleva de repente con violenta ebulicion; y si el aparato de reemplazo empieza á obrar, sube tambien el nivel del agua, pudiendo suceder que se verifique el contacto en ambos casos con las superficies candentes ó con el vapor intensamente calentado.

286. Esta es seguramente casi la única causa de la esplosion de las calderas de las máquinas de alta y baja presion, que cuando ceden á la fuerza del vapor sola, parece que rara vez suceden desgracias; y hemos estado á bordo de dos barcos cuyas calderas se rompieron trabajando con vapor de atmósfera y media, y en ambos casos no hubieran tenido los pasageros conocimiento de la averia á no haberse parado la máquina.

287. La caldera de hierro batido de una máquina de alta presion de una fábrica en New York, se rompió últimamente, trabajando con la fuerza de seis atmósferas, y el único perjuicio que causó fue apagar el fuego por el derrame del agua.

288. En París se desprendió el fondo de una caldera de hierro colado, que trabajaba con vapor de aquella misma fuerza, sin causar el mas leve daño.

289. En las desgracias que recientemente han esperimentado los barcos de vapor *Chief Justice Marshall*, y *Helen Mac Gregor*, se verificó la esplosion despues de la detencion que hacen en algunos puntos donde paran, é inmediatamente despues de la abertura de la válvula de



comunicacion para volver á dar movimiento á la máquina. En el primero cuando se reventó el tubo de calor principal de dentro, la válvula de seguridad ó estaba abierta, ó acababa de cerrarse; y una de las personas que estaban á bordo observó que el vapor al tiempo de escaparse tenia un sonido áspero y bronco, que solo se puede atribuir á hallarse escesivamente caliente y carecer de la correspondiente densidad. Otro notó que tenia color morado, y puede suponerse que seria porque el demasiado calor que habia llegado á adquirir lo hacia aparecer luminoso en la oscuridad de la noche. Creyose desde luego que la causa de la esplosion habia sido la disminucion del agua, y haber quedado en seco los tubos de calor; pero el Capitan aseguró que acababa de reconocer los atmósmetros, y al tiempo de examinar la caldera se notó que éstos estaban colocados en el lado de ella correspondiente á la banda por la que se verificó el desembarco, y es bien sabido que cuando llega este caso el peso de los pasageros que se agolpan es algunas veces suficiente para que el barco pierda su nivel, de forma que si los atmósmetros estan colocados como lo estaban los de que se trata, perderán enteramente su accion. Tambien pudo suceder que el atizador, que no era muy habil, hubiese equivocado el agua de condensacion en el tubo con la que venia de la caldera; y esta última equivocacion es una de las que deben evitarse con mas esmero, cuidando de dejar abierta la llave por espacio de algunos segundos.

290. El calor que adquiere á veces el vapor es tan intenso, que aun sin causar esplosion puede originar varias desgracias, y citaremos entre otras la ocurrida en un barco que trabajaba con vapor cuya tension no pasaba de la de atmósfera y media, cuyo forro del émbolo se inflamó repentinamente al abrir el cilindro, mas de una hora despues de haberse apagado el fuego, siendo evidente que la



causa de esta ocurrencia seria haberse mezclado alguna agua caliente con el vapor.

291. Las calderas que se calientan por dentro, ó cuyos tubos de calor pasan por su parte interior, estan indudablemente mas espuestas á desgracias que las que se calientan por fuera; las de baja presion son mas propensas á ellas que las de alta, y puede creerse con seguridad que muchas de las esplosiones ocurridas deben atribuirse á aquella causa, que no pueden evitar las válvulas de seguridad. Los medios mas seguros de precaverlas son, segun se ha dicho antes, el tener siempre corriente el aparato de reemplazo, y el que indica constantemente la elevacion del agua en la caldera; pero como el primero puede faltar y no tiene accion en muchas calderas despues de estar parada la máquina, y el segundo que pende de la buena fe del maquinista, puede llegar á entorpecerse dejando de dar indicaciones exactas, ha sido preciso buscar otros medios que se describirán en seguida.

292. El primero es un termómetro que pasa por dentro de un dado al interior de la parte que ocupa el vapor en la caldera, que indicará la temperatura de éste: debe estar hecho de forma que solo marque las mas elevadas, y se graduará por medio de un instrumento magistral, sumergiéndolo en aceite hirviendo, pero tiene el inconveniente de su fragilidad, y es posible que no lo consulten los atizadores.

293. Otro método que podrá ser muy útil en muchas ocasiones, es formar una parte de la caldera de una plancha de metal fusible á temperatura baja, y puede conseguirse ligando bismut, plomo y estaño, y variando las proporciones de los tres hasta conseguir el grado de fusibilidad necesario, de forma que no se derrita hasta estar mas caliente que lo que se desea esté el vapor, y que lo verifique mucho antes de llegarse á enrojecer la caldera. Resis-

13

tiendo de 20 á 40 grados de calor sobre el máximo calculado para el vapor, servirá perfectamente; pues al paso que éste no le hará impresion, no podrá resistir el que necesita la caldera para hacerse ascua. Estas planchas deben colocarse en la parte superior de la caldera de modo que esten en contacto con el vapor; generalmente se insertan en los estremos de los tubos adaptados á prueba de vapor á la caldera, y como se ablandan mucho tiempo antes de derretirse se hace preciso revestirlos de un diafragma de enrejado de alambre muy fino; con cuyo resguardo resisten, segun ha manifestado la esperiencia, hasta el momento de fundirse. Como las calderas pueden adquirir diversa temperatura en partes distintas, se hace preciso colocar dos planchas de esta clase en los dos estremos de la tapa, lo mas inmediatas que sea posible al cuerpo de la caldera, y cuando los tubos de vapor pasan por dentro de estas será conveniente que tambien las tengan; aunque para este caso el metal puede ser menos fusible, y el plomo puro será suficiente.

294. Cuando las calderas no estan provistas de planchas de metal fusible, y cuando por medio del termómetro ó de otras indicaciones se tiene motivo de temer que el agua ha bajado demasiado, ó que algunas partes de la caldera han llegado á adquirir un calor peligroso, el único medio de evitar el inminente riesgo que amenaza es cerrar inmediatamente la boca de la chimenea por medio del apagador, y disminuir ó apagar el fuego lo mas pronto que sea posible; y tambien tratar de enfriar rápidamente la caldera echando agua fria sobre su superficie esterior. Los apagadores que se mantienen abiertos por la accion del movimiento de la máquina, y que se cierran cuando ésta se para producirán muy buenos efectos, y pudieran adaptarse facilmente á un aparato centrífugo.



295. Se ha propuesto como método eficaz de seguridad en los casos de adquirir grande aumento de temperatura la parte superior de la caldera, proveerla de válvulas de seguridad dispuestas para abrirse antes que aquella pase de un término peligroso; podrian servir para éste objeto las comunes ya descritas, aunque deberian cargarse con mas peso, y colocarse sobre un tubo dentro del que hubiese un cilindro de metal, que deberá tener un apoyo en su base, y cuyo largo se arreglará de forma que esté en contacto con la válvula de seguridad de la temperatura calculada, para que cualquier aumento sucesivo de calor abra la válvula de seguridad que permita la salida del vapor; su accion es positiva, porque la fuerza espansiva que adquieren los metales cuando se calientan es capaz de vencer las mas poderosas resistencias; pero mas bien puede usarse como indicador de la necesidad de moderar el fuego y de poner en movimiento el aparato de reemplazo, que como preservativo infalible de las esplosiones.

296. Es seguramente muy dificil dar reglas positivas para impedir las esplosiones en todos los casos que puedan verificarse, porque por mas esmerada que sea la construccion de las calderas y aunque esten provistas de válvulas de seguridad, ninguna podrá tenerse mientras que las personas que manejan la máquina no sean celosas é inteligentes: una sola deduccion aparece ser cierta contra la opinion generalmente establecida, y es que tienen mas propension á reventar las calderas de baja presion que las de alta, en iguales circunstancias, y por el impulso de fuerzas semejantes. Sin embargo hay precauciones que bien aplicadas disminuyen considerablemente el riesgo de aquellos accidentes, de manera que solo podrán suceder por descuido ó poco conocimiento; las mas convenientes se recapitulan en seguida.

1.ª Las calderas cilíndricas, sin tubos de calor de vuel-

ta por fuera ó por dentro, son las mas seguras de todas.

2.ª No deben usarse tubos de calor interiores, mientras no sea absolutamente preciso; y jamás debe colocarse la chimenea por dentro de la caldera.

3.ª Cada una de éstas debe tener ademas de las válvulas de seguridad que se usan generalmente, otra que no esté bajo la direccion del atizador.

4.ª Todas las calderas deben estar provistas de atmosmetro, ú otro aparato que indique constantemente la altura del nivel del agua, colocándose en las de los barcos de vapor de modo que no den falsas indicaciones cuando estos rinden ó balancean.

5.ª Deben usarse planchas de metal fusible, dispuestas de forma que resistan á la temperatura ordinaria del agua y del vapor, pero que se derritan antes que estos ó las calderas lleguen á adquirir un esceso de calor que pueda ser peligroso.

6.ª Es necesario introducir en la caldera un termómetro, cuyas indicaciones se vean desde fuera.

7.ª Se adaptará indispensablemente á la caldera un aparato de reemplazo que obre por sí mismo, para que entre el agua y se mantenga siempre la que contiene aquella en la misma altura; debiendo recibir el impulso por el consumo del agua y no por la accion de la máquina: por desgracia sucede que no se han ideado todavia aparatos de esta clase para las máquinas de alta presion, no teniéndolos ninguna de las en que la tension del vapor escede de $1\frac{1}{4}$ atmósferas: tampoco se usan siempre en calderas de baja presion.

8.ª La chimenea debe estar provista de un apagador para cerrar repentinamente la entrada ó boca de los tubos de calor; y si es posible deben ponerse puertas en la parte superior del cenicero. Un apagador que suspendiese la accion del fuego en cuanto se parase la máqui-



na, sería sumamente útil para disminuir el riesgo de las esplosiones, y no parace dificil poderlo conseguir.

9.ª La prueba de la caldera debe ejecutarse con el mayor cuidado; primero con agua, proporcionando una presion cinco ó seis veces mayor que la que debe ésta resistir, y despues con vapor de doble tension que la calculada; la prueba de agua debe repetirse de cuando en cuando, y reconocer á menudo todas las partes de la caldera y las accesorias, para cerciorarse de que todas estan en el mejor orden, y espeditas las válvulas de seguridad.

297. Pocas ó ninguna de estas precauciones estan en uso en los barcos de vapor americanos; sus calderas si alguna vez son cilíndricas, tienen dentro los tubos de calor y las hornillas; y la chimenea vertical frecuentemente atraviesa la caldera; las planchas de metal fusible no son conocidas; el aparato de reemplazo se reduce á una bomba impelente que echa agua dentro, ó la derrama segun tiene por conveniente el maquinista, y que no se usa absolutamente en todo el tiempo que la máquina está parada. Muy pocos barcos tienen apagadores sobre los tubos de calor, y la prueba de las calderas es un negocio particular que se arregla entre el fabricante y el propietario, sin que el público tenga garantias de su ejecucion.

298. De todas las precauciones que hemos indicado como indispensables para disminuir los riesgos de las esplosiones, solo dos estan en práctica en los barcos de vapor de los Estados-Unidos, que son las válvulas de seguridad, y los atmósmetros de llave; las primeras estan dirigidas segun el capricho de las personas que las manejan, y los segundos estan espuestos á hacer indicaciones erróneas, ya sea por estar inclinado el barco, ó por contener aquellos, como sucede con frecuencia, agua de condensacion; con tales datos es muy estraño que no sucedan mas desgracias y que no sean mas funestas sus consecuencias.



299. Las precauciones que se usan no son ciertamente las convenientes para conseguir la seguridad, aun en el caso de que el Capitan del buque y las personas encargadas del manejo de la máquina sean tan celosos como se requiere, y es consiguiente á la mayor inteligencia; y por tanto si llegase á suceder alguna desgracia, no redundaria en menoscabo de su opinion disminuyendo su responsabilidad. Por otra parte como todas las precauciones anteriormente descritas se completan con un aparato de reemplazo que obre por sí mismo, con independencia de la accion de la máquina en las calderas de las de alta presion, fácilmente se comprende que no pueden ocurrir accidentes en las fábricas ó barcos á que den movimiento, si no son causados por el mas absoluto descuido.

300. Si se llega á conocer que la accion del aparato de reemplazo está entorpecida y que no suministra tanta agua como la que se evapora, es necesario cerrar el apagador, y refrescar la caldera, echando agua poco á poco sobre su superficie esterior; pero siempre será origen positivo de peligro inyectar abundante cantidad de agua, y aun abrir la válvula de seguridad despues que el nivel de la de la caldera ha llegado á bajar del asignado, y antes de tener seguridad de que ni la temperatura del vapor contenido, ni la de los lados de la caldera es capaz de convertir rápidamente la que se pone en contacto con ellos en vapor.

301. Tambien hay otra clase de riesgos producidos por los depósitos de materiales sólidos que se forman: casi todas las aguas que se usan en las calderas contienen mayor ó menor cantidad de partículas salinas y terrosas; y como la evaporacion constante se reemplaza con nuevas cantidades de agua igualmente impura, la parte soluble, ó impureza mecánica se acumula consiguientemente. Esta aumenta en razon directa de la que el agua es capaz de te-



ner en disolucion, y cuyas partículas se depositan con las que estan meramente suspendidas, formando costras que se adhieren al fondo de la caldera; y si las superficies que cubren llegan á enrojecerse pueden ser corroidas, por la propiedad de que gozan algunas de las sales de que se componen de atacar ó disolver los metales cuando llegan á aquella temperatura, debilitándose asi la caldera por aquellas partes, por las que está espuesta á reventar. Por consiguiente se hace indispensable limpiar las calderas con frecuencia, con cuyo objeto y el de reconocerlas interiormente, les hacen una abertura de tamaño proporcionado para dar entrada á un hombre, cuya tapa se asegura por medio de tornillos y roscas, debiendo estar las uniones á prueba de vapor. Este agujero se llama *entrada* ó *puerta* de la caldera.

302. Estos depósitos ó sedimentos son mas abundantes y se forman mas pronto si el agua que se usa es del mar, en cuyo caso se ha juzgado necesario limpiar las calderas de los barcos que navegan en ella, lo menos una vez á la semana.

303. Cuando es dulce y el sedimiento está principalmente compuesto de sulfate de cal, como sucede con las aguas que dan las bombas de las calles de los Estados-Unidos, las féculas vegetales mantendrán en suspension todas las partículas heterogéneas, con cuyo objeto se echan papas en la caldera, á razon de una libra por cada dos del carbon bituminoso que consume ésta en cada hora; esta cantidad de aquellas raices produce el almidon necesario para tener suspendidas las partículas terrosas en el agua por mucho tiempo; habiéndose observado que usando de este método no hay necesidad de limpiar las calderas mas que de mes á mes; pero todavia se ignora si será igualmente útil con el agua del mar.

304. Resta solamente tratar de los tubos por los que

se hace pasar el vapor desde la caldera á la máquina, cuyo diámetro será proporcionado á la cantidad del primero que esta debe suministrar, á la resistencia que el mismo tubo opone al paso del vapor, y á la disminucion del calor.

305. La velocidad con que el vapor que sale de la caldera entra en los espacios que contienen aire atmosférico es la que espresa la tabla del art. 260; y la que tiene entrando en el vacío es la siguiente:

Fuerza del vapor.	*Velocidad en un segundo.*
1 atmósfera	1.908.
2	1.977.
3	2.006.
4	2.002.
5	2.038.
10	2.098.
15	2.121.
20	2.141.

306. De la inspeccion de esta tabla se deduce que la velocidad del vapor que sale aumenta muy poco á poco con el aumento de temperatura, lo que nace de que su densidad aumenta en los casos comunes próximamente tanto como su fuerza elástica: siguiendo ambos la misma ley la velocidad no aumentará, pero el peso del vapor espelido por el orificio crecerá rápidamente, porque la densidad del vapor caliente es mucho mayor, y el peso del que pasa está en razon compuesta de la densidad á la velocidad.

307. La tabla del art. 260 indica las velocidades para las máquinas de alta presion, porque como veremos mas adelante, esta está resistida por la presion de la atmósfera. La tabla anterior indica las velocidades para las máquinas de condensacion; pero entrambas exigen una correccion por el rozamiento y la pérdida de movimiento que ocasiona la disminucion de temperatura, aunque para ha-

llar esta última es imposible dar reglas fijas; y el método que se ha encontrado mas ventajoso es hacer el orificio ó abertura por el que comunica el tubo con la máquina, como si estuviese calculado segun las velocidades de las tablas, haciendo el resto de este de mas calibre. Cuanta mayor es la distancia que tiene que atravesar el vapor, mayor será precisamente el tubo, y para impedir la pérdida de calor causada por el aumento de superficie, se conservará el metal brillante, en cuyo estado será mal conductor de aquel.

308. Los datos para calcular el area del orificio por el que estos tubos comunican con la máquina, son los mismos que para determinar la superficie de las válvulas de seguridad; y para hacerlos mas inteligibles vamos á reasumirlos en la siguiente

Regla para hallar el area del conducto por el que pasa á la máquina el vapor formado en la caldera.

Pártase las pulgadas cúbicas del agua que se evapora en una hora por 3.600, *que son los segundos que contiene una hora; multiplíquese el cuociente por el volúmen del vapor de la temperatura dada*, *segun la tabla del art.* 110, *y el producto será el número de pgs. cúbicas de vapor que debe pasar en un segundo. Divídase esta cantidad por la velocidad en un segundo*, *tomándola*, *cuando se trata de máquinas de alta presion*, *en la tabla del art.* 260, *y para las de baja presion en la del art.* 305, *siendo igual el cuociente á las tres cuartas partes del area que se busca*, *con la cual se determinará el diámetro de la seccion circular por el método ordinario.*

309. El coronel Miller, de Charleston en la Carolina del Sur, ha hecho fabricar para una máquina locomotriz calentada con el carbon llamado *antrhacite*, una ingeniosa y escelente caldera de figura cilíndrica, colocada verticalmente, y cuyo estremo superior es un cono truncado; la

hornilla es un cilindro concéntrico interior que termina en una semiesfera; de ella salen cañones que atravesando la caldera, sirven de tubos de calor por los que pasa el aire caliente que ha atravesado el fuego, y uniéndose en uno por la parte superior del cono truncado que forma la caldera, se aseguran á ésta muy bien, y se prolongan sirviendo de chimenea; y con el objeto de aumentar la superficie que se espone á la accion del fuego se disponen tubos de bases esféricas, que bajan desde la parte superior de la tapa de la hornilla hasta su fondo. De las esperiencias hechas con esta caldera se ha deducido que produce mas vapor, con igual cantidad del combustible de que se trata, que ninguna otra á quien se ha aplicado el mismo. Conviene advertir que Mr. Juan Stevens, de Hoboken, delineó hace algunos años el plano de una caldera bajo estos mismos principios, que indudablemente debia producir iguales resultados; pero parece que el coronel Miller no tenia conocimiento de ella cuando ideó la que se acaba de describir.

310. Ademas de todas las de que hemos hecho mencion acaba Mr. Perkins de proponer otra dispuesta bajo principios diversos, y para distinguirla de las otras le ha dado el nombre de *generador*: es una vasija muy fuerte que se llena enteramente de agua, y se calienta hasta una temperatura muy elevada, no permitiendo que se forme vapor tanto su resistencia, como el peso que sujeta la válvula de seguridad: haciendo entrar un poco de agua en el generador por medio de una bomba de fuerza correspondiente, se escapa de este igual cantidad que instantáneamente se convierte en vapor de alta temperatura y elasticidad conveniente. No habiéndose terminado todavia las esperiencias que se estan haciendo para deducir las ventajas ó perjuicios de esta invencion, no entra en el plan que nos hemos propuesto describirla mas estensamente, y vámos á hacerlo con las figuras que contiene la Lám. 1.

311. 1 y 2 representan la seccion longitudinal y la elevacion del frente de una caldera de baja presion de Watt, asi como su horno.

a a a a es el cuerpo de la caldera,
b el horno con su enrejado, *c* es el cenicero,
d d d tubos de calor,
e abertura para entrar á limpiar la caldera,
f tubo del vapor,
g atmósmetro de la forma que representa la fig. 7, en mayores dimensiones,
h válvula de seguridad como la de la fig. 12,
i boya del aparato de reemplazo,
k palanca del mismo,
l válvula idem,
m depósito provisto por la bomba de agua caliente de la máquina, debajo del cual está el tubo que la conduce á la caldera, y que contiene la boya del apagador que obra por sí mismo;
oo roldanas del apagador,
q tubo de reemplazo,
rr llaves de atmósmetro.

312. La figura 3 representa la seccion transversal de una caldera cilíndrica, habiéndose empleado las mismas letras para indicar las partes semejantes: cuando sirve en máquina de baja presion todas las partes representadas en figuras anteriores pueden aplicarse á esta con igual facilidad. El círculo interior manifiesta el modo de hacer volver el tubo de calor para que pase por dentro de esta clase de calderas.

313. La fig. 4 manifiesta una caldera cilíndrica con el horno y los tubos de calor colocados dentro.

314. En la Lám. 7 puede verse la figura esterior de una caldera de barco de vapor de baja presion, que tiene colocados interiormente el horno y los tubos de calor.



315. La Lám. 8 representa el plano y perfil de la caldera de un barco de vapor inglés.

316. En la 6 se ve un par de calderas cilíndricas CC. de una máquina de alta presion ; y en la 9 otra tambien cilíndrica del locomotor de un camino de carriles de hierdo, que no es perfecta en razon del gran peso del agua que contiene, y de su poca fortaleza.

317. Habiendo terminado la esplicacion de la figura de las calderas y de las máquinas ó aparatos accesorios de que reben estar provistas para que su accion sea la mas eficaz y segura, vamos á tratar en el capítulo siguiente de la accion del vapor considerado como agente de la máquina que lleva su nombre, y de los diversos mecanismos y figuras de las que actualmente se usan.



Capítulo IV.

Examen general de las máquinas de condensacion y accion doble.

De los promotores primitivos en general.—Principios de la accion de las máquinas.—Medios de aplicar el vapor como promotor primitivo.— Aplicacion del vapor á las máquinas de condensacion y accion doble.—Método para dar salida al agua de la condensacion y del vapor.—Para cambiar el movimiento rectilíneo recíproco de la vara ó asta del émbolo, en movimiento recíproco circular.—Para cambiar el movimiento recíproco circular, en movimiento contínuo.—Para arreglar el movimiento variable de las máquinas, y hacer que produzcan uno de velocidad uniforme.— Otros medios de conseguir el movimiento de rotacion.—Resultado de la accion unida de dos máquinas.—Agua que sirve para condensar.— Aplicacion del agua que ha servido para condensar al reemplazo de la caldera.—Regla para determinar el estado del vacío formado por la condensacion.— Quenómetro.—Método para regular el reemplazo del vapor.—Acumulacion del vapor en la caldera, y medio de evitarla.—De las máquinas de condensacion y accion doble consideradas como si obrasen por sí solas.—Forros del émbolo y cimento.— Cálculo de la potencia de las máquinas de condensacion y accion doble.— De la cantidad de agua evaporada por cada unidad de fuerza.—Del reemplazo de agua que necesita la caldera.

318. Los agentes que empleamos para producir efec-

tos mecánicos por medio de la intervencion de las máquinas pueden dividirse en tres clases:

1.° La fuerza muscular de los hombres y animales.

2.° La fuerza de gravedad producida por el descenso de cuerpos pesados, sólidos ó líquidos.

3.° El calórico aplicado ya sea para alterar el volúmen de los cuerpos que no cambian de estado mecánico durante su accion, ó para convertir los cuerpos en fluidos elásticos que obren con poderosa fuerza espansiva.

319. A la segunda de estas tres clases corresponde la del agua corriente que baja por conductos y canales hasta encontrar el nivel mas bajo que puede alcanzarse; á la tercera las corrientes de la atmósfera ó del viento, y el mas poderoso agente del gas producido por la inflamacion de la pólvora, y de los líquidos convertidos en vapor.

320. Se dá el nombre de máquinas á unos instrumentos por cuyo medio cambiamos la direccion ó intension de la fuerza de movimiento; pueden reducirse todas ellas á seis formas sencillas llamadas fuerzas mecánicas, y éstas todavia á dos modificaciones mas simples. En su accion no se envuelve mas que el principio siguiente: *El producto de la fuerza de movimiento calculada en unidades convencionales, dentro del espacio en que se halla el punto á que se aplica esta fuerza, es en todos los casos igual á la suma de los productos de todas las resistencias, en los espacios descritos por sus respectivos puntos de aplicacion.*

321. Este principio tiene dos aplicaciones distintas; en la primera está la máquina parada ó en equilibrio por la accion de la potencia y de las resistencias, en cuyo caso debe suponerse que se mueven los puntos de aplicacion, y el espacio empleado en el cálculo es aquel al través del que se moverian sin alterar las leyes del equilibrio: en el caso presente se dá á este principio el nombre de *velocidades virtuales.* En la segunda aplicacion se mueve la má-



quina con velocidad uniforme bajo el impulso de las fuerzas opuestas, y se dice haber conseguido el estado de *accion permanente*, ó el de estar en *equilibrio dynámico.*

322. Las máquinas salen del estado de tranquilidad ó inercia por consecuencia de la alteracion de la condicion que se ha establecido, y de adquirir preponderancia la fuerza de movimiento sobre las que oponen las resistencias; lo dejan gradualmente moviéndose al principio con velocidad acelerada, y la condicion que se ha establecido no se conserva por mas tiempo que aquel en que se mantiene la aceleracion, habiendo casos en que ésta puede continuar á la par del movimiento, lo que sucede cuando una fuerza es capaz de obrar con igual intension sobre un cuerpo en reposo ó en movimiento. De las tres clases de fuerzas que hemos mencionado, la gravedad es la única que obra de esta manera, pero está limitada por la resistencia que encuentra el movimiento; porque obrando el cuerpo para alcanzar la masa sólida de la tierra que lo atrae, la resistencia de ésta lo detiene prontamente; pero aun en el caso de obrar esta fuerza, los cuerpos impelidos por ella encuentran resistencias que pueden hacer al fin uniforme su movimiento: asi pues una corriente de agua aunque impelida por la fuerza de gravedad se mueve en un tubo ó canal de seccion constante con velocidad uniforme. En todos los demas casos la accion de la fuerza de movimiento no depende de la velocidad con que se mueve ó tiene tendencia á moverse el cuerpo en que reside, sino de la diferencia entre ésta y la velocidad de la máquina á que se aplica; por tanto cuando el punto de aplicacion está en reposo la potencia obra sobre él con toda la intension que es capaz de ejercer; pero cuando este punto tiene una velocidad igual á la que tiene el cuerpo al través del que obra la potencia, deja aquel de recibir toda especie de impulso de éste. Como entonces el

movimiento nace de la superioridad de la fuerza de movimiento, y como la accion de esta fuerza disminuye al paso que vá aumentando la velocidad del punto á que está aplicada, debe resultar el equilibrio entre su accion y la de las resistencias; y si ambas obran sobre una misma máquina, ésta adquirirá accion ó movimiento permanente.

323. Hemos usado de la voz *resistencia*, porque la máquina no solo debe ejecutar el trabajo para que está construida, sino tambien vencer las fuerzas de retardacion que existen en la misma naturaleza de los materiales y de la fábrica, ó que proceden de causas esteriores. El rozamiento ó friccion es una de las fuerzas de retardacion de que no está exento ningun material, y que es imposible evitar enteramente por mas perfecto que sea el trabajo de la máquina; y la mas importante de las fuerzas esteriores es la resistencia de los fluidos dentro de los que estan colocadas las máquinas, que en muchos casos es la del aire atmosférico.

324. No se mide la accion mecánica de una fuerza por el solo peso que es capaz de elevar, sino por el espacio que recorre elevándose aquel peso en un tiempo dado; asi pues como el producto de las fuerzas de movimiento y de resistencia en los respectivos espacios que recorren los puntos sobre que obran son iguales en el estado de equilibrio ordinario ó dinámico, la medida de estas fuerzas es tambien igual; y aun cuando no hubiese friccion ni resistencia atmosférica, el mayor esfuerzo que es capaz de producir la fuerza de movimiento no escede á la de su propia medida; por consiguiente ninguna ventaja se consigue por medio de las máquinas considerándolas abstractivamente, mientras que no se destruye ó anonada la totalidad de las resistencias que oponen la friccion y el aire.

325. Sin embargo las máquinas son de grande utilidad, á pesar de la disminucion que actualmente producen



en la fuerza motriz, pues por su medio podemos aplicar la direccion del movimiento del agente empleado á la obra ó trabajo que ha de ejecutar; podemos hacer que una fuerza que tiene velocidad fija y determinada, sea capaz de trabajar con cualquier otra velocidad dada; podemos aplicar un agente natural, cuya intension es determinada é invariable, para vencer una resistencia de mucha mayor intensidad, aunque á costa de la disminucion de la velocidad; y por último podemos en cada uno y todos estos casos, hacer ayudar la fuerza del hombre por los tres grandes agentes naturales de agua, viento y vapor. Asi pues si el esfuerzo que aquel es capaz de aplicar está segundado por máquinas adecuadas que le den la facultad de usar de estos tres grandes agentes, puede el hombre reducirse solamente al trabajo intelectual, no siendo necesario que se valga de sus fuerzas físicas, de modo que uno solo será capaz de dirigir la accion de la fuerza necesaria para hacer operaciones que no podrian ejecutarse con los esfuerzos reunidos de millares de ellos. La aplicacion del vapor á la maquinaria es el mayor triunfo que el entendimiento humano ha conseguido sobre la materia y los elementos.

326. El vapor se aplica como fuerza motriz de tres modos distintos; puede obrar en contra de un espacio vacío de aire, en cuyo caso si procede de agua á la temperatura de 212 grados, ejerce una fuerza equivalente á la presion de la atmósfera; ó si se calienta en una vasija cerrada con la fuerza correspondiente á la temperatura aumentada segun el principio establecido en el art. 106, puede hacerse entrar en un espacio mayor que el que es capaz de llenar á la densidad correspondiente á su calor; ó puede en fin, si ha sido producido por agua calentada á mayor elevacion del termómetro en una vasija cerrada, ser capaz de adquirir no solo la fuerza necesaria para vencer

15

la resistencia de la atmósfera, sino para ejercer ademas una gran potencia mecánica.

327. En los dos casos primeros es necesario tener los medios de formar y conservar el vacío, y el modo con que generalmente se consigue es el de aprovechar la condensacion del mismo vapor bajo forma líquida. De la tabla inserta en el art. 110 se deduce que el volúmen del vapor á la temperatura de 112 grados es 1696 veces mayor que el agua que lo produjo; luego si se condensa completamente dejará vacío $\frac{1}{1696}$ del espacio que ocupaba.

328. Tan completa condensacion es absolutamente imposible por razones que espondremos mas adelante, pero es igualmente indudable que por este medio podrá conseguirse un vacío de mucha perfeccion.

329. La condensacion del vapor se verifica privándolo de su calor latente, lo que se consigue en las máquinas por medio del agua fria, que puede aplicarse á la superficie de las vasijas que contienen el vapor, ó poniéndola en contacto con el vapor mismo: en el método adoptado en el dia en todas partes, no solamente se enfria la vasija teniéndola sumergida en un depósito lleno de agua, sino que entra en ella constantemente un caño de ésta.

330. Imagínese un piston ó émbolo que entre perfectamente ajustado dentro de un cilindro cerrado por ambos estremos, y que los espacios que hay encima y debajo del émbolo esten llenos de vapor; si el que está debajo se condensa instantáneamente y se hace entrar nueva cantidad de vapor en el espacio superior, es evidente que bajará el émbolo hasta el fondo del cilindro con toda la energia del vapor que manifiesta la tabla del art. 108; y si estando el émbolo en esta posicion se hace entrar vapor por debajo de él, y se condensa el que está encima de repente, será éste forzado á subir con una fuerza igual á la que le hizo bajar: al llegar el émbolo á la parte alta

del cilindro volverá á descender otra vez, y esta accion alternada puede conservarse mientras se consiga el medio de tener el vapor necesario, y el de condensarlo con rapidez.

331. Si se hace pasar una vara por dentro de un dado asegurado en una de las tapas del cilindro, y se une por un estremo al émbolo, será aquella el conductor de la fuerza que ejerce el vapor sobre éste en su ascenso y descenso, ya sea directamente, ó ya con la intervencion de otros cuerpos, al punto que se desee conducirla para ejecutar determinado trabajo, ó para vencer cualquiera resistencia.

332. Condensándose el vapor dentro del cilindro se esperimentará considerable pérdida de calor, y aumentará por consecuencia el gasto necesario para obtener la fuerza motriz; si se verifica echando agua fria sobre la superficie esterior del cilindro, ó inyectándola en la parte interior de éste, la temperatura del espacio cerrado y de sus paredes bajará, y el calor que el vapor les ha comunicado disminuirá mucho, ó se acabará del todo; y cuando se invierta el movimiento del émbolo, y el vapor empiece á entrar en la parte en que se condensó antes, volverá á calentar á éste y á las partes adyacentes del cilindro hasta que adquieran su misma temperatura, lo que se verifica repartiéndose entre ellos el calor latente, y condensándose el vapor por consecuencia. El que sale de la caldera no ejerce por esta causa accion mecánica hasta que el calor que se ha estraido no vuelve á renovarse; y con el movimiento del émbolo se van descubriendo nuevas porciones de superficie enfriada, y se pierden tambien las cantidades de vapor necesarias para calentarlas, siendo tal el efecto producido por la operacion alternada de calentar y enfriar aquellas partes que se ha calculado, por el resultado de esperimentos prácticos, que el vapor que se

emplea en ella es lo menos cinco veces mayor que el que se necesitaria para llenar el cilindro; por consiguiente no debe quedar duda de que es indispensable ejecutar la condensacion en vasija separada, que comunique alternativamente con las partes alta y baja del émbolo.

333. El agua es capaz de producir vapor en cualquiera temperatura; su tendencia á elevarse está contrarestada por la presion atmosférica, y de aqui resulta que no hierve ni se eleva aquel en vasijas destapadas hasta que su temperatura no llegue á 212 grados: conforme vá disminuyendo la presion disminuye tambien la temperatura de la ebulicion, de manera que en el vacío formado en una máquina neumática se verifica á los 90 grados; por tanto, tan luego como se condensa una cantidad de vapor se formará con rapidez vapor nuevo, con temperatura mas baja; y aunque la fuerza espansiva de éste disminuye en razon geométrica, es todavia capaz de oponer resistencia al movimiento del émbolo. Esta resistencia es tan considerable, que la esperiencia ha demostrado que el vapor del agua á 212 grados, cuya fuerza espansiva equivale á la presion de 15 libras por pga. cuadrada de superficie, no obra nunca sobre el émbolo con una fuerza media mayor de 10 libras, hasta que no se adoptan los medios de evitarla ó darle otra direccion.

334. Puede pues disminuirse mucho cuando no evitarse enteramente, teniendo cuidado de mantener el vacío en el condensador separado, lo que puede ejecutarse por los medios siguientes: la máquina se puede colocar lo menos á 34 pies de altura sobre el nivel de un depósito de agua, y el condensador disponerse de modo que comunique con éste por medio de un tubo: como aquella elevacion es la máxima á que la presion atmosférica puede elevar una columna de agua, la de condensacion y el vapor condensado correrán por el tubo, y saldrá por su estremo



inferior la necesaria para que el agua conserve un nivel constante por el impulso de esta presion. Es tan dificil sin embargo que se encuentre localidad aparente para realizar este proyecto, que no se ha puesto nunca en práctica; y no han vuelto á discurrir sobre él los artistas que fabrican máquinas de vapor.

335. Para mantener un vacío constante en el condensador se usa de una bomba que estrae el agua de condensacion, y el vapor que puede quedar ó formarse de nuevo; se llama *bomba neumática*, y se sumerge asi como el condensador, dentro del agua fria que, contenida en un depósito, y por medio de una abertura adecuada, se hace entrar en forma de caño dentro del condensador, por cuyo medio se consigue poner en contacto con el vapor una gran cantidad de superficie fria, verificándose asi la condensacion con mas rapidez que enfriando la superficie del condensador. El agua que entra en éste se arregla segun el trabajo de la máquina, por medio de una válvula llamada *llave de inyeccion*.

336. El movimiento alternado rectilíneo del émbolo en el cilindro de la máquina puede por lo tanto aplicarse solo directamente para trabajar con la misma especie de movimiento y con igual velocidad; asi pues si su asta pasa por el fondo del cilindro podrá servir para dar movimiento al émbolo de una bomba, y si aquel se coloca horizontalmente dará impulso el asta de una máquina horizontal de aire ó sistema de fuelles. Pero como los casos en que es posible adaptar esta aplicacion son raros y de poca importancia, no se usan nunca en la práctica; y cuando se necesita un movimiento de esta especie y de igual velocidad, es mucho mas comun llevar ó comunicar la accion del asta del émbolo al punto conveniente para ejecutar el trabajo, por medio de balancines y palancas, que se mueven sobre estilos ó ejes.



337. Cuando el eje de la palanca coincida con el punto en que está colocado el estilo, sus estremos se moverán describiendo arcos de círculo con movimiento recíproco; pero como el del asta del émbolo es rectilíneo se hace necesario disponer la union de la palanca y del asta de forma que uno de estos movimientos no perjudique al otro.

338. El método mas sencillo es asegurar una barra al estremo del émbolo, formando ángulo recto con la direccion de éste, y hacer que los estremos de la barra describan líneas rectas adaptándoles guias de hierro tambien rectas: manteniéndose asi el estremo del asta en su curso rectilíneo, se une al de la barra por medio de otra que se mueve sobre visagras cilíndricas, aseguradas en los dos primeros, consiguiéndose comunicar por esta última la fuerza que impele al asta en su ascenso y descenso á la barra primera, permitiendo las visagras que varíe ésta su posicion de manera que uno de sus estremos se mueva en línea recta, y el otro describiendo arcos de círculo.

339. Hemos dicho antes (art. 338) que este método parecia ser el mas sencillo, y se ha introducido recientemente, siendo poco usado aun en el dia: en su lugar y con el objeto de conseguir efecto ó resultado semejante se ha usado de otro aparato llamado *movimiento paralelo*, en el que se une el asta del émbolo al estremo de la palanca por medio de una barra semejante á la mencionada en el artículo anterior, pero la primera no tiene guias. Se forma un paralelogramo con el asta, una parte de la palanca y dos barras de hierro iguales y paralelas á ellas, colocando las visagras de que hemos hablado, en dos de los ángulos del paralelogramo, ejecutándose la union que forman los lados por visagras, estilos ó cuchillas, los lados de aquel son de tamaño inalterable, pero sus ángulos pueden variar de abertura facilmente por el movimiento de los lados sobre las visagras que los unen; y



el estilo del ángulo diagonalmente opuesto al de la union del estremo de la palanca, con la barra que la une al asta del émbolo, está sujeto por otra barra á otro estilo inmovil colocado en la armazon de la máquina ó en alguna pared adyacente, por cuyo medio el punto que está en el ángulo últimamente nombrado describirá un círculo, cuyo centro será el del estilo fijo.

340. Los puntos situados en los dos ángulos del paralelogramo sobre la palanca describirán tambien arcos de círculo, cuya convexidad está en direccion opuesta á la de los que describe el punto sujeto al estilo fijo; y cuando los radios de estos tres arcos diversos guardan debida proporcion, el vértice del ángulo restante describirá una línea recta, porque aun cuando en rigor no es mas que una parte de curva de flexion contraria, dentro de los límites de las oscilaciones de la palanca no diferirá sensiblemente de aquella direccion; pero no siendo una verdadera línea recta este método, aunque ingenioso, es tan imperfecto en teórica y mas complicado en la práctica que el otro. El lado del paralelogramo opuesto al que forma la parte de la palanca se llama *la barra paralela*, los dos restantes *tirantes*, y la barra que une el ángulo inferior del paralelogramo al que no está unida el asta del émbolo con el estilo fijo se llama *el radio*.

341. Hemos hablado de las barras que con una parte de la palanca forman el movimiento paralelo, considerándolas como sencillas; pero aunque para la teórica es esto suficiente, se acostumbra hacer los tirantes dobles, con el objeto de que los ajustes en los ejes sean mas exactos.

342. En el tirante doble inmediato al punto de apoyo de la palanca se dispone otro mecanismo paralelo, que sirve para dar movimiento á la bomba neumática; se reduce á un pernete colocado entre los dos tirantes, al que se asegura el asta de ella por medio de una nuez circular, de



forma que su direccion no varía con el movimiento del pernete, que estando asi colocado entre dos puntos que describen arcos de círculo con convexidades opuestas, debe, calculándose con precision la distancia á que ha de estar de ambos, moverse constantemente en línea recta, siendo el principio de estos movimientos paralelos el que se describe en seguida.

343. Sea *m b* fig. 1, Lám. 10, la parte de la palanca en su posicion inferior, y *m* el centro sobre que oscila; á los puntos *a b* estan unidos los tirantes *a f c*, y *b d*, y á estos la barra paralela *c d*, cuyo eje estará en la línea *b c*: los cuatro ángulos *a*, *b*, *c*, *d*, tienen movimiento libre sobre pernetes, y el radio los tiene en *b*, y *c*; asi pues los puntos *a*, y *b*, describirán cuando se mueve la palanca, los arcos de círculo *a g i*, *b l k*, mientras el punto *c* describirá el arco de círculo *c e f*, cuya convexidad es opuesta á la de los anteriores, obligando asi al punto *d*, á recorrer la línea recta *d b h*. En esta figura la línea *a b* y el radio *c d*, son iguales á la mitad de uno de los brazos de la palanca, pero pueden tener ambas otras proporciones; todo lo que es necesario conseguir es que la longitud del radio de eje á eje sea igual á la que hay entre los puntos *m* y *a*.

344. El segundo movimiento paralelo se combina colocando un eje *f* en el punto en que la línea *m d* corta al lado *a c* del paralelogramo, por cuyo medio recorrerá éste la línea recta *f a n*.

345. Todavia es mas sencillo, segun hemos indicado antes (art. 338) el mecanismo que últimamente se ha variado en el movimiento paralelo, que es como sigue:

346. El estremo del asta del émbolo se asegura á una barra ó cruceta, formando ángulo recto, colocándose los estremos de ésta entre guias paralelas situadas en el plano de la línea *d b h*; la cruceta está torneada en dos partes,



formando ejes á que se aplican los estremos de los tirantes que unen el asta del émbolo á la palanca.

347. El otro estremo de ésta, opuesto al en que está hecha firme el asta del émbolo, tiene tambien movimiento circular recíproco, elevándose cuando el otro baja, y bajando cuando este se eleva; esta clase de movimiento se aplica dificilmente á cualquier especie de trabajo, porque en las aplicaciones mas importantes del vapor lo que se requiere es movimiento circular y continuo, y por consiguiente se hace necesario dar este al movimiento recíproco que tiene el estremo de la palanca, lo que se consigue por medio de la *barra de conexion* y de la *cigüeña.*

348. La barra de conexion es una barra de hierro hecha firme al estremo de accion de la palanca por medio de un eje cilíndrico, y de una núez circular que le permiten moverse libremente. La cigüeña es un radio ó brazo de hierro que tiene un eje en cada estremo, uno de los cuales entra horizontalmente en una nuez sólidamente apoyada, permitiendo á la cigüeña el libre movimiento alrededor del eje; el del otro estremo de ésta tiene el largo conveniente para entrar en un agujero abierto en el estremo inferior de la barra de conexion. El largo de la cigüeña entre los centros de los dos ejes, debe ser igual al espacio que recorre el émbolo dentro del cilindro, que es lo que se llama *viage ó estension del golpe*, siendo ésta su menor longitud cuando los brazos de la palanca son iguales, que es lo que sucede generalmente; y cuando no lo son, ésta distancia está en la misma razon con el largo del viage, que la que los brazos de la palanca á que está respectivamente asegurada la barra de conexion tienen entre sí. El estremo de accion de la palanca se eleva y baja describiendo arcos de círculo, obedeciendo al impulso que recibe del cilindro por medio del movimiento paralelo, y lo comunica á la cigüeña por medio de la barra de co-

nexion; de forma que el estremo movible de aquella describirá cediendo á su influencia, un semicírculo en el tiempo que emplea la palanca para subir ó bajar, el cual puede describirse á uno ú otro lado de la vertical que pasa por el eje fijo de la cigüeña, y aplicándose el mas ligero impulso á ésta en sus posiciones de mayor elevacion y depresion se la obligará á completar el círculo.

349. Para facilitar la inteligencia de este aparato consúltese la fig. 5, Lám. 4, en la que *A* representa el estremo de la palanca, *b* el superior de la barra de conexion, que termina en dos orejas que abrazan la palanca; *c* la barra de conexion, cuando está elevada; *d* el eje de la cigüeña á que está unido el estremo inferior de la barra de conexion; *E* la cigüeña, cuyo centro está en *f*; y *g*, *h*, *i*, *k* cuatro posiciones distintas de esta.

350. La fuerza que hace continuo el movimiento de rotacion de la cigüeña procede del *volante*, que tiene que ejecutar tambien otra operacion de mas importancia. No es posible concebir un movimiento mas irregular que el del émbolo dentro de un cilindro de vapor: cuando llega á estar en contacto con cualquiera de las bases de éste, la entrada del vapor lo hace pasar gradualmente del estado de inercia hasta el de la máxima velocidad, cuya estension depende de la relacion existente entre la cantidad de vapor y el trabajo que debe ejecutar: cuando el émbolo llega al otro estremo del cilindro vuelve á pararse con mas ó menos prontitud, segun el modo con que el vapor entra ó se condensa, é inmediatamente despues empieza un movimiento en direccion contraria, que aumenta progresivamente al principio, y vuelve á cesar cuando llega el émbolo al límite opuesto de su movimiento; resultando por consecuencia que tanto la direccion del movimiento alternado como la velocidad de éste, estan variando continuamente, y que hay dos instantes en que el émbolo se

para. Pero como en la mayor parte de las aplicaciones del vapor es indispensable que la accion sea contínua y circular, y su impulso uniforme, se hace preciso para conseguir ambos objetos sacar partido de la propiedad de algun cuerpo que no tenga facultad de ponerse por sí mismo en movimiento cuando está parado, ni de pararse por sí mismo cuando está en movimiento.

351. Toda masa que llega á ponerse en movimiento adquiere la tendencia de moverse hácia adelante continuamente y con velocidad uniforme, aun cuando cesa la fuerza que se lo imprimió; y si encuentra resistencia el cuerpo que se mueve comunica movimiento á los que se le oponen. La parte de una máquina que sirve para poner en accion este principio se llama *el volante*, y es generalmente una rueda pesada que se coloca en el punto de aquella que tiene movimiento mas rápido; entrando su maza en el eje de la cigüeña. El volante, asi como todas las demas partes de la máquina, opone resistencia á la fuerza de movimiento, y necesita determinada pérdida de fuerza para adquirirlo; pero cuando llega á conseguirse requiere solo pequeños aumentos de fuerza, que pueden aplicarse con intervalos para conservar el movimiento con la mayor velocidad media que la potencia movible, que obra por medio de la intervencion de la máquina, es capaz de comunicar. Si la potencia es variable, y por tanto propende á causar irregularidades en el movimiento de la máquina, el volante se opone á la aceleracion por una parte, porque no puede adquirir repentinamente aumento de velocidad, oponiéndose á éste con una fuerza equivalente al producto de su masa por la diferencia que hay entre la velocidad que tiene cuando empieza á obrar la aceleracion, y la que la fuerza de aceleracion es capaz de producir. Por otra parte no es posible detener de repente su movimiento cuando disminuye ó cesa de obrar la potencia que lo origina, y



si vá disminuyendo la velocidad con que se mueve, es solo por las resistencias que encuentra. Al mismo tiempo de empezar á obrar imprime su movimiento á los cuerpos que lo resisten, conservando asi la velocidad de todo el aparato impelido por la máquina, y haciendo que la de ésta sea uniforme y seguida, mientras no vuelve á ejercer su influjo la aceleracion; por tanto el volante regulará la accion variable del émbolo de las máquinas de vapor, conteniendo la celeridad cuando ésta propende á aumentarse, al recibir aumento de fuerza, la que reparte de nuevo entre todas las partes de la máquina que estan en movimiento cuando el del émbolo disminuye ó llega á ser nulo, como sucede al llegar este á tocar los estremos del cilindro. Si se construye el volante de modo que su masa y velocidad sean grandes, llegará á ser absoluta su propension á la uniformidad, y girará con movimiento uniforme dependiente de la variacion constante del primer móvil, dando al mecanismo movido por la máquina de vapor velocidad regular y constante.

352. Esta propension del volante á moverse hácia adelante con movimiento continuo de rotacion, aumentada al principio y hasta que no llega á adquirir la velocidad media entre la máxima y mínima que el émbolo es capaz de comunicarle, por medio del movimiento paralelo, de la palanca y de la cigüeña, se obtiene por su paso por un solo semicírculo, ó recorriendo no mas que media revolucion; por tanto cuando el émbolo llega á su posicion superior ó inferior, y el vapor cesa de obrar por un solo instante, el volante impele la cigüeña hácia adelante de la línea vertical; y el nuevo impulso producido por el vapor, cuando obra sobre la parte opuesta del émbolo, obliga á la cigüeña á moverse hácia adelante, describiendo el otro semicírculo opuesto al descrito antes, y por consecuencia con movimiento de rotacion continuo.



353. La forma y modo con que obra la cigüeña influye ventajosamente en todo el mecanismo, proporcionando el medio de conseguir el movimiento uniforme del volante sin causar el mas leve perjuicio ó daño á la máquina: la potencia de la cigüeña se aplica siempre al volante en la direccion de una tangente al círculo que aquella describe; la del vapor obra sobre la cigüeña en la direccion de la barra de conexion; y cuando esta es nula por estar el émbolo en el acto de cambiar la direccion de su movimiento, forman las líneas que representan la tangente y la direccion de la barra ángulo recto, y la cigüeña puede ser por tanto impelida hácia adelante por el volante, sin sufrir la mas leve interrupcion por la suspension y cambio subsecuente de la direccion del movimiento del émbolo; pero cuando el vapor ejerce sobre este su máximo esfuerzo, aquellas dos líneas estan casi coincidentes, y la cigüeña recibe todo el impulso total del vapor. Por tanto de todos los medios conocidos que hay para convertir el movimiento variable y alternado, en continuo y uniforme, ninguno es mas ventajoso como el arriba descrito, y pocos le igualan: uno de ellos que indicarémos al hablar de la historia del vapor en Inglaterra, goza de iguales propiedades; pero no conocemos ningun otro que esté en uso.

354. Los artistas que no estan iniciados en los principios de la mecánica, estan persuadidos de que se pierde mucha potencia cuando se comunica el movimiento por la intervencion de una cigüeña: esta idea parece haber tenido su origen en lo que sucede cuando un hombre mueve un torno por medio de su cigüeñal, cuyo aparato es semejante al de la cigüeña, y obra segun los mismos principios. En aquel cuando la fuerza que se aplica constante y directamente es capaz de contrapesar una presion de 70 lbs. no puede vencer una resistencia de 25 lbs., lo que procede de que la misma potencia disminuye en el discurso de una par-

te de la revolucion hasta su último límite, no pudiéndose completar aquella mientras la resistencia constante sea mayor que la potencia. La fuerza del hombre no depende solo de la de sus músculos, sino tambien del modo y direccion en que ésta obra; sucediendo que en algunas posiciones del movimiento del cigüeñal su aplicacion es sumamente contraria, y aun cuando este obra sobre la resistencia con toda la fuerza que el hombre es capaz de imprimirle, es esta menor en algunas partes de la revolucion, que lo que es en otras. En las máquinas de vapor sucede una variacion semejante en la intension del motor primitivo, y es de gran consideracion; pero cuando el hombre se fatiga cada vez mas, aplicando su fuerza en las posiciones tan poco favorables que le obliga á tomar el movimiento del cigüeñal, el variable del émbolo de un cilindro de vapor corresponde exactamente con la variacion del gasto ó cantidad de este que es necesaria.

355. Segun una ley establecida en mecánica no debe perderse fuerza alguna: puede aplicarse á resistencias que no entran en el cálculo de la obra que se ejecuta p. e. para vencer las fricciones de las distintas partes de la máquina; ó si se le dá direccion perjudicial ó poco ventajosa, se desperdiciará sobre la misma máquina, cuyas partes estarán asi espuestas á romperse ó usarse. Esto último sucede en la accion de la máquina de vapor tal como la hemos descrito; pero la cigüeña no es la única de sus partes que está espuesta á este defecto. La barra ó tirante que forma parte del movimiento paralelo, nunca obra en la direccion de una tangente al arco descrito por el estremo de la palanca con quien está unida, y pierde por tanto algunas veces parte de la fuerza que la máquina comunica á la palanca, obrando ademas para variar la posicion de esta; y tambien sucede ó tiene lugar una oblicuidad semejante cuando la barra de conexion está asegurada al estremo opues-



to de la palanca con pérdida igual de fuerza. La barra de conexion obra siempre sobre la cigüeña en todos los ángulos que forma con su tangente desde o.° á 90.°, y por consecuencia se pierde la parte de fuerza que tiende á alterar la posicion de su eje.

356. Cuando la fuerza del vapor obra constantemente sobre una barra de conexion cuyo largo es tres veces mayor que el del viage de la máquina, la fuerza que se pierde será á la total del vapor, como o'225 á 1; pero como el vapor deja realmente de imprimir fuerza alguna en los puntos superior é inferior de la revolucion de la cigüeña, no puede haber pérdida entonces; y solo habrá la de o'139 á 1, ó cerca de una séptima parte cuando, si como generalmente sucede, la presion del vapor aumenta gradualmente al principio y vuelve luego á disminuir, la pérdida efectiva no escede de la décima parte de la fuerza de la máquina: si la barra de conexion es mas larga obra mas directamente la fuerza, teniendo por consecuencia menos pérdida.

357. Esta pérdida es todavia menor que la friccion de la máquina, y que el aumento que adquiere esta en cualquiera de los métodos que se han propuesto hasta ahora, ó que pueden proponerse para hacer que el vapor obre directamente sobre un cuerpo dispuesto de manera que sea capaz de adquirir movimiento de rotacion, en lugar de que obre sobre el émbolo que se mueve con golpes alternados dentro de un cilindro; y estamos por tanto inclinados á creer que todos los distintos proyectos que se han propuesto para construir máquinas de rotacion, no ha sido mas que perder el tiempo; y que queda poca esperanza de que las que se construyan en lo sucesivo igualen á las de cilindro y accion doble, en la propiedad de aplicar ventajosamente una cantidad dada de vapor.

358. El método que hemos descrito para convertir el

movimiento alternado del asta del émbolo en el de rotacion continuo, por medio del movimiento paralelo, de la palanca, de la barra de conexion y de la cigüeña, no es universal, y este cambio se verifica algunas veces con menos separacion, asegurando la barra de conexion á una cruceta que tiene el estremo superior del asta, que debe moverse en este caso entre dos guias. Cuando el cilindro está colocado verticalmente, la barra de conexion y la cigüeña son dobles, bajando las dos primeras por ambos lados de aquel; y hemos visto mas de un proyecto en que el mismo cilindro estaba montado sobre muñones, que le proporcionaban tener movimiento de vibracion, pudiéndose escusar por este medio el uso de la barra de conexion, por obrar directamente el asta del émbolo sobre la cigüeña, y entrando el vapor en el cilindro por dentro de los muñones que son huecos. Asi estaba dispuesta la máquina de condensacion de French que se colocó en un barco que navegaba en el rio Hudson en 1808, y asi lo estan tambien las que dan movimiento á las bombas de desagüe de los diques de los arsenales de Norfolk y de Charlestown. Este procedimiento de suspender el cilindro es solo aplicable á máquinas pequeñas, y siempre que aquel tiene poco peso; y de la supresion de la palanca resulta gran economia de espacio, la que algunas veces es de suma importancia: una máquina que no tenga palanca ocupará un espacio cuyo largo es menor que el de la mitad de las que la tienen, y en muchos de los barcos de vapor americanos, y singularmente en todos los construidos bajo la direccion de Fulton estan sus máquinas asi dispuestas. En los estados del Oeste es costumbre generalmente establecida no solo suprimir la palanca, sino colocar el cilindro horizontalmente, cuyo método tiene muchas ventajas, siendo la mas importante de todas que el barco padece menos por el impulso de una fuerza que obra en la direccion de su eslora, que



obrando esta verticalmente, y que puede colocarse toda la máquina debajo de la cubierta, sin menoscabo de ninguna de sus escelentes propiedades.

359. Pero por otra parte la supresion de la palanca tiene la desventaja de que la oblicuidad de la accion del émbolo sobre la barra de conexion, es mayor que cuando se usa de ella y del movimiento paralelo, y la de que la pérdida producida por la oblicuidad es mayor con respecto á la fuerza cuando esta es la máxima, siendo por tanto la pérdida comparada con la fuerza media mayor que en otros casos, lo que no sucede en los cilindros montados sobre muñones porque en ellos se aplica la fuerza directamente cuando llega á su máxima intension.

360. En algunos casos el movimiento comunicado al volante se hace mas uniforme usando dos máquinas completas, cuyas cigüeñas se adaptan al mismo eje, aunque situadas en planos que se cortan formando ángulos rectos. Cuando el émbolo de uno de los cilindros llega á su estremo inferior ó superior, el del otro está en la mediania de su golpe, obrando el uno con su máxima fuerza cuando cesa de obrar el otro. Este proyecto es mucho mas preferible indudablemente que el de una sola máquina del mismo poder nominal, pero es mas costoso, porque el valor de una máquina sencilla de doble fuerza es mucho menor que el de dos de la mitad. Las del barco de vapor *América del Norte* estan dispuestas en esta forma, lo mismo que las de los de la empresa llamada *Union-line*, que navegan de Filadelfia á Baltimore *Carlos Carroll*, *Guillermo Penn* y otros, cuya velocidad es mayor que la de todos los barcos construidos ántes, estando igualmente fabricadas las de los mejores locomotores de caminos de carriles de hierro.

361. El volante no es siempre indispensable en las máquinas, porque pueden disponerse las que no lo tengan de manera que alguna de sus partes sirva para reemplazar á



aquel; y asi sucede en los barcos de vapor cuyas ruedas tienen movimiento rápido, y en los carruages de los caminos de carriles de hierro que por tanto no lo necesitan.

362. La condensacion del vapor se realiza dentro del *condensador*, conservando á éste siempre frio, y haciendo entrar en él un caño de agua: para conseguir ambos objetos se sumerge enteramente en un depósito de agua fria que se reemplaza, y por una abertura que tiene el condensador en uno de sus lados, provista de una llave, se mantiene constantemente una corriente de agua, cuya cantidad se arregla segun la abertura de la llave por donde aquella pasa. De lo establecido en el art. 106 se deduce que el vapor á 212 grados es capaz de calentar seis veces su peso de agua á la misma temperatura, cuya masa reunida es siete: la temperatura de condensacion es generalmente la de 100 grados; y para hacer bajar la de siete medidas de agua de 212 grados á 100 se necesitarán cerca de diez y seis medidas de agua, que agregadas á las seis que se emplean en la condensacion componen veinte y dos, esto es, que veinte y dos veces el volúmen de agua evaporada por la caldera es la menor cantidad que bastará, tanto para conseguir la conveniente condensacion del vapor, como para enfriar el agua condensada; debiendo servir ademas como reemplazo para impedir que se caliente el depósito de la fria, y es muy comun la disposicion que se dá á la bomba de agua fria para proveer una azumbre de agua por cada azumbre de la que evapora la caldera.

363. Con el objeto de ahorrar una parte de calor se hace pasar el vapor condensado y el agua de condensacion, por medio de la bomba neumática, á una vasija llamada *depósito del agua caliente*, de la que se eleva por medio de la *bomba del agua caliente* al aparato de reemplazo de la caldera: ambas bombas se mueven por astas hechas firmes á la palanca cuando la tiene la máquina, y



en caso contrario se aseguran las dos, asi como la de la bomba neumática, á una barra ó palanca que tiene uno de sus estremos unido al del asta del émbolo del cilindro, de quien recibe el movimiento, estando el otro apoyado sobre un punto fijo, sobre el cual oscila.

364. La potencia de las máquinas de condensacion depende del estado del vacío que se mantiene en el condensador, y de la presion del vapor que sale de la caldera; por tanto es muy conveniente tener los medios de conocer si la rarefaccion producida por la condensacion del vapor y la accion de la bomba neumática, es mas ó menos perfecta. Este conocimiento se adquiere por medio del *quenómetro* (1), que se compone de un tubo de cristal abierto por ambos estremos, estando el inferior sumergido en un depósito de mercurio, y comunicando el superior por medio de un tubo, con la parte interior del condensador: cuando el vapor se condensa dentro de éste la presion atmosférica obliga al mercurio á elevarse en el tubo á una altura que es la medida de la rarefaccion total; y la diferencia entre la elevacion de esta columna de mercurio y la de un barómetro, es la medida de la fuerza que obra opuestamente á la de la presion del vapor sobre el émbolo de la máquina. Esta puede por consecuencia deducirse calculando el trabajo efectivo de la máquina, segun las indicaciones del atmósmetro, despues de agregar á éste una atmósfera. Se ha propuesto el uso de un instrumento llamado *indicador* para suplir el atmósmetro y quenómetro, con un muelle espiral, alternativamente espuesto al vapor y al vacío, pero todavia no está generalizado su uso.

365. La accion que ejerce el volante uniformando el

---

(1) En inglés *vacuum-guage*, ó medida del vacío, y se ha formado su equivalente de las dos palabras griegas κενον, *kenon*, vacío, y μετρο, *metro*, medida.

movimiento no obra mas que sobre las irregularidades que tiene el del émbolo; en el discurso de cada uno de sus viages cuando aumenta la corriente de vapor, crece la accion media del volante, y cuando aquella disminuye tambien se atrasa uniformemente el movimiento de éste; pero ni una ni otra variacion influyen en el del mecanismo movido por el vapor, á menos de no ser periódica; mas sucede con frecuencia que la cantidad del vapor que produce la caldera es variable, en cuyo caso es necesario tener un instrumento que indique las alteraciones de este móvil primitivo, con cuyo objeto se adapta un *regulador* á las máquinas de vapor. Este es tambien necesario siempre que el trabajo de la máquina no es uniforme, como sucede en varias ocasiones con las de las fábricas, en que se hace preciso parar repentinamente una parte del mecanismo y volverla á poner del mismo modo en accion. El regulador es un aparato que suele llamarse *péndulo cónico*, y se compone de dos esferas ó bolas pesadas, suspendidas por dos barras á los lados opuestos de un eje vertical; el eje se mantiene en movimiento por impulso que recibe de la máquina, y á medida que gira van adquiriendo las bolas del regulador la fuerza centrífuga necesaria para vencer su peso, y obligarlas á separarse y describir un círculo mayor que el que antes describian; y por esta accion de separarse obran por medio de un sistema ó mecanismo de palancas, sobre la válvula que cierra el tubo del vapor. Esta, que se llama *válvula de comunicacion*, tiene la figura de un disco circular de metal, que llena exactamente el tubo cuando su plano es perpendicular al eje de aquel, y se mueve sobre visagras colocadas en los estremos opuestos de uno de sus diámetros, pudiendo por este medio presentarse de canto á la accion del vapor, oponiendo muy poca resistencia á la salida del que vá de la caldera al cilindro, ó cerrar enteramente el tubo é interceptar la sa-



lida del vapor colocándose de plano. Cuando las bolas del regulador giran con tan poca velocidad que su fuerza centrífuga no es suficiente para vencer su peso, las palancas situan esta válvula horizontalmente ó de canto al vapor que sale del tubo, y cuando se aumenta la velocidad hasta hacer llegar á las bolas á su último límite, toma la válvula la posicion vertical, cerrando enteramente el tubo. En las posiciones intermedias de la válvula está el tubo mas ó menos abierto, segun la mayor ó menor velocidad del movimiento giratorio del regulador, que lo recibe por medio de una correa sin fin, que pasa por encima de un tambor que tiene el eje de la cigüeña, ó por un sistema de engranage de piñones y ruedas, puestas en accion por la misma parte de la máquina.

366. Cuando la *válvula de comunicacion* obra disminuyendo la salida del vapor que viene de la caldera, el fluido elástico se acumulará en ésta, y su densidad y elasticidad aumentarán asi como su temperatura, obrando por consecuencia sobre la boya que contrapesa al apagador que obra por sí mismo, que bajará disminuyendo la abertura de la chimenea, de forma que la disminucion del gasto del vapor obra asi disminuyendo la intension del fuego que lo produce; y si llega á aumentarse con demasiada rapidez, la válvula de seguridad le dará salida.

397. Las válvulas por cuyo orificio entra el vapor en las partes alta y baja del cilindro alternativamente, por cuyo medio se abre y cierra la comunicacion, se mueven por un mecanismo unido á la máquina: en el principio se usó para este objeto del conocido con el nombre de *rack work* ó telera dentada, pero en el dia es mas general adaptar una *escéntrica* al eje de la cigüeña: esta es una plancha de metal circular que tiene una abertura en la parte interior de su circunferencia, que se adapta exactamente en el parage determinado del eje mencionado, y estando

colocada la abertura escéntricamente respecto á la plancha se dá á esta el nombre de *escéntrica*. La escéntrica gira con el eje de la cigüeña: está circunscrita por un anillo que le permite moverse dentro de él con libertad, de forma que cualquier punto dado del anillo variará de distancia al eje de la cigüeña dentro de límites determinados; esta alteracion se comunica á una palanca curva, que dá movimiento á las válvulas por medio de una armazon abierta de madera, que tiene la figura de un triángulo isóceles, cuyos lados iguales son tangentes al anillo circular que circunscribe á la escéntrica.

368. Las máquinas de condensacion y accion doble obran casi enteramente por sí mismas; y en efecto cuando se destinan á ejecutar obras que requieren velocidad uniforme, no hay que hacer mas que mantener el fuego y observar las indicaciones del atmósmetro de cuando en cuando; hasta la primera de estas dos operaciones se ha conseguido que la haga la máquina, y por consiguiente no es necesario cuidar de reemplazar el combustible en el espacio de algunas horas.

369. Los émbolos del cilindro y de la bomba neumática, y las aberturas que hay en sus cubiertas por donde trabajan las astas, se revisten ó forran de cáñamo para evitar la salida del vapor, dispuesto en forma de fajas trenzadas untadas con grasa; las juntas y uniones de las distintas piezas se cierran herméticamente por medio de fajas de cáñamo ensebadas, ó de fieltro, y se revisten con masilla hecha con albayalde y aceite; pero cuando las uniones estan dispuestas de modo que una de las partes se adapte á la otra, se tapan con una pasta compuesta de diez y seis partes, en peso, de limaduras de hierro, dos partes de muriate de amoniaco, y una de flor de azufre. Generalmente se disponen las juntas fundiendo las piezas de forma que caballeen ó solapen los cantos, se abren



en éstos agujeros con taladros, y se sujetan con pernos que terminan en rosca, que se asegura con tuerca.

370. La potencia de las máquinas se regula tomando como unidad alguna fuerza convencional, y habiéndose empezado á sustituir la accion de las de vapor á la de los caballos, ha llegado á ser uso general el designar el esfuerzo de aquellas por el de determinado número de éstos: la unidad que se emplea para aquel cálculo es la fuerza de un caballo, y hablamos de las máquinas como si fuesen el resultado de la accion de varios de estos animales; pero como la fuerza del caballo es muy variable, resulta que este método seria incierto si no se fijase el trabajo que es capaz de ejecutar aquél; y aunque distintos maquinistas han usado diversas fórmulas, todos han convenido en que el modo de determinar la fuerza de un caballo es el de saber el número de libras inglesas, *avoir du pois*, que puede elevar á la altura de un pie, en el espacio de un minuto.

371. Desaguiliers apreció esta cantidad en 27.500 libras, y Smeaton en 22.916 libras: Watt supone que un caballo es capaz de levantar 32.000 libras; pero si se calcula la potencia de las máquinas de éste y de Bolton, se verá que llega su accion hasta 44.000 libras.

372. La fuerza que obra es la presion del vapor sobre el émbolo, la que multiplicada por la velocidad de éste dará la potencia total de aquel; pero antes que el vapor que sale de la caldera llega al émbolo sufre retardo por la presion en los tubos, y pérdidas por la baja de temperatura que hace disminuir la fuerza espansiva indicada por el atmósmetro; su accion disminuye despues por el enfriamiento que esperimenta dentro del cilindro, y antes de que se trasmita la potencia al punto de accion de la máquina tiene que vencer la friccion del émbolo, abrir y cerrar las válvulas, hacer entrar el vapor dentro del con-

densador, y mover la bomba neumática y las de agua caliente y fria; vencer despues las fricciones de los ejes de la palanca, movimiento paralelo y cigüeña, y la resistencia que opone ademas al émbolo el vapor no condensado que queda en el condensador. Esta última puede conocerse por medio del quenómetro, pero no hay indicacion alguna para determinar todas las demas con exactitud, siendo por tanto preciso para hacerlo comparar el trabajo que ejecuta la máquina, con la fuerza primitiva del vapor, y por este medio ha llegado á deducirse, despues de varias observaciones, que mas de un 40 por 100 de la potencia original del vapor se pierde por consecuencia de estas resistencias, haciéndose por tanto necesario disminuir en esta razon á lo menos, las indicaciones del atmósmetro antes de emplearlas en el cálculo de la fuerza de la máquina.

373. En este pais se acostumbra apreciar la fuerza de un caballo en 33.000 libras elevadas á la altura de un pie en un minuto; y la presion media del vapor en las máquinas de condensacion á 10 libras por pulgada cuadrada, deduciéndose de aqui la siguiente regla:

Multiplíquese el area del émbolo en pulgadas cuadradas por 10, y por la velocidad del émbolo por minuto, y partiendo el producto de estas tres cantidades por 33.000, dará el cuociente la potencia calculada de la máquina en caballos.

374. La regla de Brunton dá la cantidad de 44.000 libras para divisor, y la de Tredgold reduce la presion media á 9'1 libras por pulgada cuadrada, que produciria un divisor de cerca de 36.000 libras: cuando se supone la presion de 10 libras, la indicacion del atmósmetro se considera ser de 5 pulgadas de mercurio, equivalentes á una presion de $2\frac{1}{2}$ libras mas que una atmósfera, ó lo que es lo mismo $17\frac{1}{2}$ libras por pulgada cuadrada, y la válvula de



seguridad está cargada de un peso de 3 libras por pulgada cuadrada, el que agregado al de la atmósfera, deberá contener al vapor mientras su fuerza espansiva no esceda de 18 libras por pulgada cuadrada.

375. La cantidad de agua que debe evaporarse para ejecutar el trabajo de un caballo en las máquinas de condensacion y accion doble, apreciada segun acabamos de establecer, puede calcularse del modo siguiente: un pie cúbico de agua reducido á vapor bajo la presion ordinaria de la atmósfera, ocupa un espacio 1696 mayor que el que ocupaba en estado de líquido, pero el espacio que ocupará bajo la presion de $17\frac{1}{2}$ libras es, haciendo abstraccion de la espansion producida por la temperatura, menor en la razon de 15 á $17\frac{1}{2}$, porque los espacios que ocupan los fluidos elásticos estan en razon inversa de las presiones que los circundan (art. 72); luego el espacio ocupado por el vapor cuya fuerza espansiva es de $17\frac{1}{2}$ libras, será igual á 1454 veces de su masa original.

376. Un pie cúbico de agua ocupa segun se ha dicho (art. 375) un espacio de 1454 pies luego que está reducido á vapor de la calidad espresada, y siendo la presion efectiva segun se ha establecido de 10 libras por pulgada cuadrada, ó 1440 libras por pie cuadrado, será el poder de un pie cúbico de agua, por consecuencia igual á 1440×1454, ó 2.093,760 libras por un pie de espacio; y si se parte este producto por 33.000, que es el peso convenido que puede levantar á la altura de un pie un caballo en un minuto, resultará al cuociente el número de minutos en que un pie cúbico de agua reducida á vapor, mantendrá esta unidad convencional de potencia. Dicho cuociente es 63 ó tres minutos mas de una hora, que se desprecian; y se supone generalmente que la evaporacion de un pie cúbico de agua equivale en las máquinas de condensacion, á la potencia de un caballo; y como es siem-

pre conveniente poder disponer de una cantidad escedente de vapor, se disponen las calderas de modo que produzcan mas unidades de vapor que las que se dice tiene la máquina. Siendo proporcionalmente mayor la pérdida de calor que tienen las calderas pequeñas que las grandes, se hace preciso que este esceso sea una cantidad constante, fabricándolas de modo que produzcan el vapor equivalente á dos caballos mas que aquellos por los que se designa la máquina.

377. El aparato de reemplazo de la caldera, que como hemos visto art. 363, se compone de una bomba que eleva el agua de condensacion desde el depósito del agua caliente, al que está encima del tubo de reemplazo, debe por consiguiente ser capaz de hacer entrar en la caldera lo menos un pie cúbico de agua por hora, por cada caballo de los en que se aprecia la máquina, ó $\frac{1}{1454}$ en solidez de la cabida del cilindro en cada viage de su émbolo; pero como es mejor que haya esceso que defecto, la cantidad de agua caliente que eleva generalmente la bomba en cada golpe es igual á $\frac{1}{900}$ de la cabida del cilindro.

378. Estos son los principios generales de la accion de una de las clases de las máquinas de condensacion, que para distinguirlas de las otras en que se ejecuta igual operacion, se conoce con el nombre de máquina de doble accion, al que se añade el de su inventor Watt: estamos ya preparados para proceder á una descripcion mas detallada de sus diversas partes, cuyo uso y modo de obrar no habria sido inteligible si no hubiésemos investigado antes sus aplicaciones, y la relacion que tienen entre sí.

Capitulo V.

Descripcion de las máquinas de condensacion y accion doble.

Figura que se dá generalmente á las máquinas de condensacion y accion doble.—Tubo de vapor.—Capa ó funda del cilindro.—Tubos laterales.—Válvula corrediza.—Valvulilla.—Cilindro.—Su tapa.—Su fondo.—Embolo.—Embolo de Woolf.—Cimento metálico de Cartwright.—Condensador.—Bomba neumática.—Desaguadero.—Guarnicion de la bomba neumática.—Depósito y bomba de agua caliente.—Depósito de agua fria.—Llave de inyeccion.—Agua de condensacion.—Bomba de agua fria.—Movimiento paralelo.—Palanca.—Astas de las bombas.—Barra de conexion.—Cigüeña.—Volante.—Balancin.—Escéntrica.—Escéntrica doble—Ajuste de la escéntrica.—Regulador.—Válvula de comunicacion.—Otras formas de máquinas de condensacion y accion doble.—Modo de ponerlas en movimiento.—

379. Habiéndose esplicado en el capítulo anterior los principios generales de la accion de las máquinas de condensacion y accion doble, vamos ahora á describir con mas estension cada una de sus distintas partes, teniendo á la vista las figuras que las representan colocadas todas en su lugar (Lám. 8); y como las máquinas de condensacion son las mas completas y de forma mas perfecta, se

ha escogido para la ilustracion de nuestro objeto una construida en Leeds, por Murray, Fenton y Wood.

380. La fig. 1 representa la elevacion esterior de la máquina; la 2 una seccion transversal; la 3 el plano horizontal, y la 4 la vista de la parte inferior del aparato, vista por el lado opuesto; las mismas letras se han colocado en iguales parages de todas las figuras.

381. En la máquina de que se trata llega el vapor á la parte del tubo de vapor *S*, desde donde pasa á un espacio formado alrededor del Cilindro, por una funda tambien cilíndrica llamada la *capa*, con el objeto de que conserve aquel siempre temperatura uniforme. No todas las máquinas tienen esta pieza adicional, y no tenemos idea de haber visto en ninguna de las que hemos examinado en este pais mas que una sencilla cubierta de madera, que siendo mal conductor del calórico, se considera aparente para conservar el calor del Cilindro.

382. De lo dicho (art. 116) con respecto al modo con que el calor disminuye en ciertos casos se deduce, que tanto la capa como el forro de madera son defectuosos: al aire libre se pierde poco calor por el poder conductor de la superficie, de forma que la mayor parte de la pérdida es producida por la radiacion. La superficie tosca y negra del hierro colado es entre todos los metales el mejor radiador, y la madera ocupa uno de los primeros lugares en el órden general de las fuerzas de radiacion; por consiguiente en el primer caso se enfriará el vapor antes de llegar al parage en que debe obrar; y en el segundo la temperatura del Cilindro será mas elevada que si no tuviese forro. Los principios establecidos deben indicarnos que el método mas seguro de conservar el calor es encerrar al Cilindro en otro, hecho á prueba de aire, de cualquier metal bruñido; dejando un pequeño espacio entre ambos el aire contenido en este espacio, comunicará



muy poco calor á la funda ó capa, y el que llegue á comunicarse se radiará muy despacio.

383. En la máquina de que se trata pasa el vapor de la capa á los tubos laterales *a a*, por la abertura *b*: la figura y colocacion de estos tubos depende de la estructura de las válvulas, que en ésta son de las llamadas *corredizas* inventadas por Murray, de Leeds, pero las limitó á un espacio reducido: la que representa la figura ocupa todo el lado del tubo lateral, cuya mejora se debe á Watt.

384. El tubo lateral tiene generalmente la figura de un semicilindro, cuya superficie plana se adapta á la cara esterior del Cilindro, y termina en una caja cuadrada; el vapor entra en él por el canal *b*, que comunica con la capa, y en las máquinas que no la tienen el tubo de vapor entra generalmente en el lateral por detrás de éste, y por cerca de la mediania de su altura. Dentro de este tubo se coloca otro que lo llena exactamente en los dos estremos, pero que tiene menos diámetro en el centro; de modo que el vapor que entra en el tubo lateral llena el vacio que hay entre éste y el interior: el segundo es movible y está hecho firme á una asta que pasa por un dado á prueba de aire, colocado dentro de la caja cuadrada de que hemos hablado, por cuyo medio sube y baja alternativamente, recibiendo el movimiento de un mecanismo que se describirá mas adelante.

385. Entre el Cilindro y el tubo esterior hay dos canales cuyas secciones son rectangulares; uno de ellos comunica con la parte superior de aquel, y el otro con la inferior.

386. El largo del tubo interior está calculado de modo que cuando la parte de cualquiera de sus estremos que llena exactamente el tubo esterior, está delante de la abertura cuadrada correspondiente, la otra tiene enfrente la parte de menor diámetro del tubo, y el vapor entra por

ella dentro del Cilindro. En la superficie plana de la parte del tubo interior que se aplica á la primera abertura cuadrada, hay otra de la misma figura que corresponde á aquella; por la que el vapor que sale del lado adyacente del émbolo pasa por dentro del tubo interior, saliendo por la abertura *o*, á entrar en el condensador *n*; en la posicion en que está representada la máquina en la figura corre el vapor á la parte inferior del Cilindro por debajo del émbolo, mientras está saliendo por el otro estremo, y pasando al condensador por dentro del tubo interior.

387. Tiene este otra abertura rectangular semejante en el estremo opuesto, y cuando la accion de la máquina hace variar la posicion del tubo interior, se adapta esta abertura á la adyacente de la misma figura, al tiempo que la otra está en comunicacion con el espacio que hay entre ambos tubos, de forma que la direccion del vapor y el movimiento del émbolo son inversos.

388. De lo dicho se infiere que hay comunicacion constante entre el espacio contenido entre los dos tubos y la caldera, y que el interior la tiene igual con el condensador: la variacion de posicion de aquel pone alternativamente las aberturas del Cilindro en comunicacion con la caldera y con el condensador.

389. Facilmente se conocerá que esta especie de válvula requiere un trabajo perfecto; las superficies planas de los tubos interior y esterior deben estar hechas con el mayor esmero y exactitud, asi como las circulares que llegan á ponerse en contacto en los estremos superior é inferior.

390. La conformacion de esta clase de válvulas se entenderá mejor teniendo á la vista las figuras 1,1. Lám. 11, en que estan representadas en dos distintas posiciones, y con el objeto de dar mas ilustracion á la materia hemos



representado otra de distinta figura que la de la máquina de la Lám. 3, en la que el huso ó espigon entra en el tubo lateral por la parte superior, mientras que en estas figuras entra por debajo.

391. Esta válvula tiene ademas la ventaja de abrirse gradualmente, lo que es muy importante en muchos casos, evitando asi el choque repentino que causaria el cambio de movimiento de la máquina, y ajustando bien las distancias que hay entre las aberturas del tubo interior y las del aparato que lo mueve, puede hacérsele capaz de interceptar el vapor, haciendo asi otra vez menos violento el cambio. Por otra parte la perfeccion de la mano de obra requerida no puede conseguirse siempre, y no es posible corregir sus defectos en parages distantes de obradores bien dirigidos; y la esperiencia ha demostrado que usando de aguas impuras se destruye la válvula rápida y desigualmente, y el resultado ha sido que habiéndose adoptado su uso en muchos de los barcos de vapor de este pais, se ha abandonado pronto sustituyendo en su lugar otra clase de válvulas mas antiguas, que vamos á describir á continuacion.

392. Esta clase de válvulas, llamadas generalmente *valvulillas*, está representada en la Lám. 2, fig. 3.

393. Los tubos laterales son siempre dos, el que está señalado con la letra *A*, recibe continuamente el vapor de la caldera por medio del tubo de vapor *E*, y el otro lateral *B*, lo está haciendo pasar en igual forma al condensador: estos tubos estan unidos y encerrados sus estremos en las mismas cajas cilíndricas, que son las dos *C* y *D*, y cada una de estas está dividida en tres espacios por medio de dos diafragmas, que tiene cada uno una abertura de la figura de cono truncado, cuya base menor está hácia abajo. A estas aberturas se dá el nombre de *narices*, y sirven de asiento á las válvulas *a*, *b*, *c*, *d*, que tienen la figura



de conos truncados, muy sólidos y perfectamente ajustados á las aberturas, y en el espacio que hay entre los dos diafragmas de cada caja, hay una abertura que permite la entrada y salida del vapor en el Cilindro.

394. De la simple inspeccion de la figura se deduce fácilmente que cuando las dos válvulas superiores de cada caja *a* y *c*, estan abiertas el vapor que sale de la caldera debe pasar al Cilindro, y cuando estas se cierran, y abren las otras dos inferiores *f* y *d*, pasará este del Cilindro al condensador; por tanto es necesario que se abran recíprocamente las válvulas *a* y *d*, cuando las *b* y *c* se cierren, y á la inversa; y para conseguirlo se disponen las dos primeras uniéndolas de modo que se abran y cierren á un tiempo, lo mismo que las dos últimas: en la figura se verá que cada una de ellas tiene un huso cilíndrico, y que las cuatro aberturas estan en línea recta y vertical. Los husos de las dos válvulas *a* y *c* que se llaman *de vapor*, son huecos, de forma que pasan por dentro de ellos los de las otras dos válvulas *b* y *d* llamadas *de condensacion*, con el objeto que se esplicará mas adelante; y en algunas de las máquinas mas antiguas en vez de este mecanismo de los husos hay una corta telera dentada, cuyos dientes engranan en los de un segmento de círculo, y cuyo uso y disposicion se describirá tambien en lo sucesivo.

395. Los tubos laterales tienen algunas veces la figura de pilares ó columnas, con el objeto de hacerlos contribuir al adorno y hermosura esterior de la máquina, y el entablamento se estiende por encima á llenar el espacio que hay entre ambos.

396. El diámetro de las aberturas de estas válvulas se arregla dando á la base menor lo menos un quinto de el del Cilindro; las aberturas de la caldera deben tener igual area, asi como las de la válvula corrediza que acabamos de describir (art. 383); pero hay casos en que el diáme-

tro de las primeras puede aumentarse ventajosamente, mas nunca debe ser menor que el tamaño que se les ha asignado, que es el mínimo.

397. El Cilindro de las máquinas de vapor tiene la figura que indica su nombre, y para evitar equivocaciones se escribirá siempre con letra mayúscula, distinguiéndolo así de todas las demas partes de aquellas que tienen igual configuracion; está indicado en las figuras de la Lám. 3 con la letra *b*. En las máquinas grandes es de hierro colado, fundido con alma y torneado por dentro para darle el tamaño justo; esta operacion exige mucha destreza y debe ejecutarse en un molino que no esté espuesto á agitaciones, porque mucha parte del mérito y valor de la máquina depende de que la figura interior de esta importante pieza se aproxime á ser la de un cilindro matemático, todo cuanto lo permita el material de que se hace. Cerca del estremo superior del Cilindro se deja en la fundicion una pieza rectangular, en que se abre la abertura *h*; y ambas bases terminan en un círculo horizontal, con agujeros para asegurarlo á la tapa y al fondo por medio de tornillos y tuercas. En la máquina representada en la Lám. 3, la tapa está entornillada al círculo saliente ó rebaba de la capa, y la del Cilindro está unida á la de la capa por medio del cimento metálico.

398. La tapa del Cilindro es una plancha circular, cuyo diámetro es igual al de la rebaba á que se adapta; se tornea por abajo de modo que llene exactamente la parte interior de aquel, dejando un pequeño vacío que se rellena con cimento metálico. Tiene en el centro una abertura para dar paso al asta del émbolo, alrededor de la cual se deja en la fundicion una caja cilíndrica, por dentro de la que se mueve aquella sin permitir la salida del vapor; la parte superior de esta caja tiene la figura de tuerca, donde entra el tornillo que comprime el cimento, y la cabe-

za de este está torneada, y tiene un hueco que se llena de aceite.

399. El fondo del Cilindro es de igual diámetro que la tapa, y tiene la misma proyeccion torneada en su canto para adaptarse á aquel; el conducto inferior del vapor la atraviesa y se funde al mismo tiempo, y en la máquina de que se trata, la rebaba del Cilindro y la de la capa estan unidas al fondo de aquel por los mismos tornillos y tuercas.

400. El fondo del Cilindro debe ser igual al espacio que recorre el émbolo en cada viage, al grueso de este, y á un pequeño hueco que se deja para impedir que choque con la tapa y el fondo; su diámetro en la fig. de la Lám. 3 es igual á la mitad del largo del viage del émbolo, y esta proporcion aunque no es constante, está autorizada por la práctica general que observa Watt. En los barcos de vapor ingleses, cuyas máquinas estan colocadas debajo de cubierta, el viage es necesariamente mas corto, y se gana la potencia perdida por esta causa aumentando el diámetro del Cilindro.

401. Cuando tratemos de las máquinas destinadas á dar impulso á los barcos de vapor indicarémos el largo que debe tener el viage del émbolo; en las que sirven para fábricas y manufacturas el arriba indicado es el mejor.

402. El émbolo se compone de dos piezas de figura circular, que cuando estan unidas forman un círculo menor que el diámetro interior del Cilindro, á quien no toca por ningun lado, moviéndose libremente; la inferior está sólidamente unida al asta, cuyo estremo inferior es cónico, entra en la pieza del émbolo de menor á mayor, y tiene una abertura por donde pasa una chaveta que asegura las dos piezas del émbolo cuando estan sobrepuestas.

403. Estas estan ligadas ademas por medio de tornillos, y tienen en el canto de su masa reunida un hueco



como el de las roldanas, que se rellena con el forro que se pone al émbolo para que ajuste exactamente al Cilindro, que generalmente es de cáñamo humedecido con aceite ó grasa, y se sujeta y comprime por medio de los tornillos que unen las dos piezas del émbolo, de forma que conforme se vá gastando el forro se van apretando aquellos; por cuyo medio se comprime éste, y sale lo suficiente para reemplazar la falta. Esta disposicion se entenderá mejor consultando la fig. 2, Lám. 10, que representa una seccion vertical del émbolo, siendo *a* el asta que termina en el cono *b*; *c c* los tornillos que unen las dos piezas *d d* y *c c*; *f f* el forro de cáñamo.

404. Woolf ha inventado un método muy ingenioso para comprimir el forro sin quitar la tapa del Cilindro, disponiendo al intento las cabezas de los tornillos en figura de piñones dentados, que engranan en los dientes de una rueda que gira libremente alrededor del asta del émbolo; y es evidente que si se hace girar á uno de los piñones no solo girará el tornillo á quien sirve de cabeza, sino tambien la rueda dentada y todos los demas; uno de los tornillos tiene una espiga cuadrada en la que entra una llave, que pasa por una abertura que tiene la tapa del Cilindro, y ésta está cubierta siempre por una tapadera que ajusta á prueba de vapor. En la fig. 3, Lám. 10 *a* es el asta del émbolo, *b b* la rueda dentada que gira sobre ella, *c c c* los piñones cabezas de los tornillos que comprimen el forro, *d* la espiga cuadrada del piñon del tornillo donde entra la llave que dá movimiento á todo el aparato.

405. El forro metálico inventado por Cartwright es, segun la opinion de uno de los artistas mas hábiles, superior á todos los demas; se compone de dos anillos de metal perfectamente ajustados para llenar exactamente la parte interior del Cilindro, que se interponen en las dos piezas del émbolo. Cada uno de estos anillos está dividido en tres par-

tes, que se colocan uno sobre otro cruzando las juntas, y sobre cada una de estas obra un muelle que empuja hácia fuera las dos piezas que la forman, impidiéndose la salida del vapor por la division de las piezas.

406. La fig. 4, Lám. 10 manifiesta este mecanismo: *a* es el asta del émbolo; *b b b* los muelles que obran sobre las juntas *c c c* de uno de los anillos, que está representado como si se formase inscribiendo un triángulo equilátero dentro de un círculo; *d d d* son partes de las tres piezas del anillo inferior, cuyas juntas corresponden á los puntos *e e e*, y tienen muelles iguales á los *b b b*.

407. Si se usan émbolos metálicos es necesario barrenar el Cilindro con el mayor esmero, y no debe hacerse mientras no se tenga completa confianza de esta parte tan esencial de la mano de obra.

408. El condensador *n*, fig. 2, Lám. 3, es de figura cilíndrica; por su tapa pasa el tubo *o*, por el que se introduce en él el vapor que sale de las válvulas de la máquina; en uno de sus lados hay una abertura á que se adapta la válvula *r* llamada *la llave de inyeccion*, cuyo objeto es el de hacer entrar constantemente un caño de agua fria para condensar el vapor. La capacidad del condensador cuando la máquina trabaja con vapor de $17\frac{1}{2}$ lbs. de presion por pga. cuadrada, es generalmente igual á la octava parte de la del Cilindro.

409. El estado del vacío contenido en el condensador se determina por medio de un quenómetro, que está representando en la Lám. 1, fig. 14: *a a* es un receptáculo abierto lleno de mercurio, *b b* un tubo de cristal cuyo estremo inferior comunica con este, y el superior con el condensador por medio del tubo *e*: al paso que se forma el vacío en el condensador la presion del aire esterior, gravitando sobre el mercurio, lo obliga á subir por el tubo *b b*; y la diferencia que hay entre la altura á que llega,



y la que señala al mismo tiempo el de un barómetro, indica la resistencia que el gas que no puede escaparse del condensador, opone al descenso del émbolo.

410. El condensador comunica con la bomba neumática por medio de un conducto horizontal rectangular, en el que está colocada la *válvula del fondo t*, cuya figura es generalmente la de un postigo suspendido por una visagra, ligeramente inclinado de la línea vertical, que se cierra por su propio peso, y que se amuela por el canto para que ajuste bien. El condensador y la bomba neumática estan entornillados á una base comun que se llama *la peana*.

411. La bomba neumática es tambien cilíndrica, y muy semejante al Cilindro; pero no siendo mas que de la mitad de las dimensiones lineales de éste, tiene la octava parte de su capacidad; esto es, la misma que la del condensador. La tapa de esta bomba es parecida á la del Cilindro, y por medio de ella pasa su asta, al través de una caja á prueba de vapor.

412. El émbolo de esta bomba está forrado como el del Cilindro, pero no es sólido ó macizo como aquel. Tiene una válvula que generalmente es de la figura de las llamadas de *ala de mariposa*; el asta está unida á una barra que cruza al émbolo en la direccion de uno de sus diámetros, y á ésta estan hechos firmes por medio de visagras, dos postigos que abren hácia arriba, que llenan el resto de la abertura circular del émbolo, y que siendo su movimiento semejante al de las alas toman este nombre, dándose al émbolo y sus alas el de *guarnicion de la bomba neumática*. De las dimensiones establecidas arriba se deduce facilmente que el viage de éste es igual á la mitad de el del Cilindro; y las fig. 5 y 6, Lám. 10 representan el plano y corte vertical de la guarnicion de la bomba neumática.



413. A uno de los lados de esta y cerca de su estremo superior, se deja en la fundicion un conducto rectangular, que se cierra por medio de una válvula *v*, semejante en figura y mecanismo á la válvula del fondo, y que se llama el *desaguador*.

414. Elevándose la guarnicion de la bomba neumática obliga al agua de condensacion á salir por el desaguador á un depósito ó receptáculo cuadrado de hierro, llamado *depósito del agua caliente*; y la *bomba de agua caliente*, que sirve para hacer pasar toda ó la parte necesaria del agua de condensacion al reemplazo de la que consume la caldera, está representada en la figura *z*; siendo su mecanismo el corriente de un caño y dos válvulas. El agua convertida en vapor es, segun se ha establecido en el art. 377, $\frac{1}{1454}$ de la capacidad del Cilindro en cada viage de su émbolo, y asi es necesario disponer esta bomba de modo que dé mayor cantidad de agua que aquella, esto es $\frac{1}{900}$, con el objeto de evitar el riesgo y la escasez del reemplazo.

415. Como la cantidad del agua producida por la condensacion es mucho mayor que la necesaria para el reemplazo de la caldera, siendo veinte y dos veces mayor en peso que el vapor que se emplea, se derrama la parte escedente de ella por un tubo que se llama *de derrame*.

416. El cálculo del calibre de la bomba de agua caliente puede hacerse siguiendo la siguiente regla.

Pártase el número de pulgadas cúbicas que contiene el cilindro por 900, *y este primer cuociente por el largo del viage de la bomba; el segundo será el area en pulgadas cuadradas, de la que se deducirá geométricamente el de las válvulas.*

417. En la máquina de que se trata el viage del émbolo de la bomba de agua caliente es igual á $\frac{1}{3}$ de el del Cilindro.

418. El condensador y bomba neumática estan sumergidos en un depósito de agua llamado *de agua fria*; en varias máquinas es una alberca hecha en el terreno, revestida con mezcla ó zulaque. En los barcos de vapor es algunas veces de madera, y otras se omite; y hay máquinas en que es un estanque de hierro colado cuyos lados sirven de bases á estas. Asi sucede en la á que hacemos referencia, en la que *a a* es el estanque; y las que estan dispuestas en esta forma, que pueden colocarse sobre cualquier parage sólido, y que no tienen conexion con paredes ó edificios, se llaman *portátiles*, aun siendo de las mayores dimensiones.

419. El depósito de agua fria comunica con el condensador por medio de un tubo, cuyo uso es hacer entrar en el segundo un caño de aquella que condensa el vapor con rapidez, poniéndolo en contacto con una gran superficie, y al efecto suele tener su estremo una boquilla con agujeros como una regadera; la cantidad de agua que se inyecta se regula por medio de una válvula llamada *llave de inyeccion*, que está representada en la fig. 2, Lám. 3.

420. Como la llave de inyeccion está haciendo salir constantemente el agua del depósito de la fria, y como la que contiene éste absorve en igual forma el calórico del condensador y de la bomba neumática, es indispensable disponer el constante reemplazo de la que se consume, y mantenerla siempre á igual temperatura; éste es el objeto de la *bomba de agua fria*, que es una bomba aspirante ordinaria, que comunica con el estanque ó canal que provee de agua á la máquina; y ya se ha indicado (art. 363) el modo de determinar la cantidad necesaria para mantener en igual temperatura la del depósito, calculándose facilmente el area cuando se conoce el largo del viage. En la máquina de que se trata este viage de la



bomba de agua fria es igual al de la neumática, y á la mitad de el del Cilindro.

421. Hemos esplicado la teoria y el uso del movimiento paralelo 1, 2, 3, 4, Lám. 3 en los artículos 339 y siguientes, y la regla para determinar las dimensiones de una de las formas que mas comunmente se usan es la siguiente: la barra paralela debe ser igual á la mitad de uno de los brazos de la palanca, ó á la cuarta parte de la distancia que hay entre las dos visagras; el radio es igual á la barra paralela, y los dos pares de tirantes son de la misma longitud, y tienen generalmente tres pulgadas menos de centro á centro que la mitad del viage del émbolo.

422. El punto en que se coloca el perno sobre que está hecho firme en el estremo del asta de la bomba neumática, está en el par de tirantes interior; y en la interseccion de estos con la línea tirada desde el hipermoclio de la palanca al estremo superior del asta del émbolo, fig. 1. Lám. 10.

423. El largo de la palanca en las máquinas de Watt es comunmente igual á $1\frac{1}{2}$ veces el del viage del asta del émbolo; se funde en una pieza, y se le dejan proyecciones salientes para tornear en ellas los ejes sobre que deben trabajar el movimiento paralelo, astas de las bombas, y barra de conexion.

424. El asta de la bomba neumática *u*, que está hecha firme al par de tirantes interior, dista del centro de movimiento de la palanca la cuarta parte del largo de esta.

425. La de la bomba de agua fria está asegurada en la palanca, á la misma distancia de su hipermoclio por el lado opuesto.

426. La de la bomba de agua caliente á una sesta parte del largo de la palanca desde su hipermoclio.

427. El de la barra de conexion entre sus centros, en

las máquinas de Watt, es igual á dos veces el largo del viage del émbolo.

428. El brazo de la cigüeña *z*, es igual á la mitad del viage del émbolo, siempre que los dos brazos de la palanca son iguales.

429. El radio del volante puede variar segun la aplicacion que se le dé; el movimiento para impeler la máquina debe tomarse á una distancia de su centro igual al que hay desde este al de giracion (art. 43.): en la representada en la Lám. 3 el radio del volante es igual á dos veces la altura total del Cilindro, y su peso se calcula por la siguiente regla:

Multiplíquese la potencia en caballos por 2000, *y pártase el producto por el cuadrado de la velocidad de la circunferencia del volante en un segundo; el cuociente dará el peso en quintales ingleses de* 112 *libras* avoir du pois.

430. La velocidad de la circunferencia se halla facilmente cuando se conoce el radio, porque la de la cigüeña es tanto mayor que la del asta del émbolo, en la razon que la circunferencia de un círculo escede á su diámetro; por consiguiente la circunferencia del volante tiene una velocidad tanto mayor que la de la cigüeña, como el radio del primero es mayor que el de la segunda.

431. En la primitiva figura que dió Watt á sus máquinas se abrian y cerraban las válvulas por un aparato semejante al que se usó en la primera época; el asta de la bomba neumática estaba provista de *narices ó canes*, que por el movimiento de ascenso y descenso de ésta obraban sobre palancas que tenian contrapesos; las palancas estaban dispuestas de forma que daban movimiento recíproco á segmentos dentados, que engranaban en los dientes de unas teleras unidas á las válvulas, por cuyo mecanismo se abrian y cerraban éstas.

432. Cuando se usan válvulas cónicas, como sucede

en el dia, se pone á cada una de ellas un huso, y sus aberturas estan colocadas en línea vertical: asi pues los dos husos de los dos pares de válvulas estan igualmente en la misma direccion. Los de las dos superiores son huecos, y los de las dos inferiores de cada par que son sólidos, pasan por dentro de ellos. El peso de las válvulas es generalmente el necesario para cerrarlas y mantenerlas asi; y en caso contrario se cargan con el adicional conveniente. Los husos de las dos válvulas que deben obrar simultáneamente como p. e. la de vapor del par superior, y la de condensacion del inferior, se unen por medio de varillas que tienen por consecuencia la forma de los tres lados de un rectángulo; y estas varillas se empujan hácia arriba en determinado tiempo del movimiento de la máquina, por piezas que se proyectan de un *balancin* horizontal, que tiene movimiento oscilatorio. Las proyecciones ó piezas estan colocadas en los lados opuestos del balancin y en el mismo plano, de forma que cuando una de ellas obra sobre la varilla que dá movimiento á uno de los dos pares de válvulas empujándola hácia arriba, deja de obrar la otra permitiendo que las dos del otro par se cierren, cayendo por su propio peso, y al contrario, estableciéndose asi el movimiento alternado de cerrarlas y abrirlas.

433. El balancin recibe el movimiento por medio de una pequeña cigüeña que le está unida; se mueve sobre un eje y tiene conexion con el eje del volante, por medio de un aparato llamado *escéntrica*, que está representado en las fig. 1 y 2, Lám. 3, y se verá mejor en la fig. 4, y se reduce á una plancha circular *b*, que tiene una abertura tambien circular escéntrica, fundida en aquella, á que entra ajustado el balancin del volante que se acuña fuertemente, de forma que éste dá movimiento á la palanca circular *b*, haciéndola girar en sus revoluciones.

434. A la plancha circular está adaptado un anillo circular *c*, dentro del cual no puede dar vuelta, y que por consiguiente no necesita recibir otro impulso de éste que el que le comunica la escéntrica por medio de la revolucion de la plancha; á este anillo estan unidas dos barras *d*, *e*, que forman los dos lados iguales de un triángulo isóceles, reuniéndose en una sola pieza que está en direccion perpendicular á la base del triángulo, y que tiene un mango *f*, torneado en su estremo, cuyo uso es levantar la escéntrica de su lugar cuando se quiere parar la máquina, y volverla á poner en su posicion cuando se desea que vuelva á trabajar; en la escéntrica se corta ó abre una muesca semicircular, que cae suavemente sobre un eje torneado que tiene el balancin *g*.

435. Facilmente se conocerá que mientras el eje del volante hace sus revoluciones llevando tras sí la plancha, el estremo de la armazon triangular recibirá movimiento oscilatorio, que se convertirá en movimiento recíproco circular en la cigüeña del balancin, por cuyo medio dará éste el impulso necesario á las válvulas por la accion de sus dos brazos.

436. La máquina representada en la Lám. 3, tiene segun se ha dicho (art. 394), válvula corrediza que se pone en movimiento por distinto método que la valvulilla.

437. Por cada lado del balancin se proyecta un brazo *h*, que está en su mismo plano formando ángulo recto con la cigüeña *g f*, los dos brazos estan reunidos por dos varillas de conexion, que se elevan hasta mas arriba del tubo lateral, y asi se unen por medio de una cruceta; en la mediania de ésta se asegura la vara que dá movimiento á la válvula corrediza, que por este medio se eleva y baja por la accion de la escéntrica cuando segun se ha esplicado (art. 433), las valvulillas se elevan solamente y descienden por su propio peso.

438. Cuando las máquinas estan destinadas á objetos que algunas veces exigen la inversion del movimiento, se pueden usar dos escéntricas adaptándolas á cigüeñas colocadas en los estremos opuestos del balancin, en planos perpendiculares uno á otro; una de las dos escéntricas trabaja solamente, pues siempre que es necesario invertir el movimiento se para el émbolo cuando está en la mediania de su viage ó en la posicion representada en la fig. 1 y 2, Lám. 3; entonces se cambian estas, elevándose la que estaba trabajando, y cayendo ó engranando sobre su cigüeña la que estaba parada, de modo que cuando vuelve á correr el vapor, el émbolo se moverá en direccion opuesta á la que seguia antes de pararse. Otro método que se ha usado en algunos barcos de vapor ingleses, se reduce á abrir dos muescas diametralmente opuestas en la barra de la escéntrica, y colocar las cigüeñas rectangulares del balancin en el mismo estremo de éste, por cuyo medio queda situada la escéntrica entre ellas, y puede aplicarse á ambas segun acomoda.

439. De lo dicho se infiere facilmente que al instante de abrir y cerrar las válvulas puede determinarse por medio de la posicion de la escéntrica sobre el balancin del volante, lo que se ejecuta usando de un aparato llamado generalmente *a plug frame* mejor que colocando *narices* sobre el asta de la bomba neumática; esta eleccion no es poco importante para el trabajo de la máquina, porque si el émbolo es impelido por el vapor hasta el último límite de la estension de su viage, choca con violencia con la tapa ó fondo del Cilindro; y si las válvulas de vapor se abren demasiado pronto se pierde una parte considerable de éste, disminuyendo su accion sobre ambos lados de aquel. En ambos casos se pierde fuerza, y en el primero padece todo el aparato; y al tiempo de calcular las máquinas se determina la posicion de la escéntrica prácticamen-

te, situándola en el parage que se juzgue mas aparente para proporcionarle el movimiento mas igual y uniforme.

440. Por encima de un tambor que hay en el eje del volante, pasa una faja, que abraza tambien á otro tambor que tiene el eje de la *rueda oblícua*: ésta dá movimiento á otra sobre cuyo eje está situado el *regulador*, cuyo mecanismo aunque representado en la máquina, no puede indicarse por medio de letras. Este es, segun se ha dicho (art. 365), un péndulo cónico, cuyas bolas giran en un mismo plano, elevándose cuando aumenta su fuerza centrífuga por el aumento de velocidad, y descendiendo cuando ésta disminuye. De la teoria de este instrumento se deduce que el número de sus revoluciones es igual á la mitad de las que daria un péndulo, cuyo largo fuese igual á la distancia que hay entre el plano en que giran los centros de las bolas y el punto de interseccion de las barras que las sostienen; asi pues, luego que se conoce el máximo y mínimo número de revoluciones que se desea dé el volante en un espacio dado, se calculará la longitud del péndulo cónico con la mayor facilidad.

441. Las barras que sostienen las bolas del regulador estan unidas por pernetes á otras dos, tambien reunidas por pernetes, pudiendo correr el punto de conexion á lo largo de su eje; el paralelógramo formado por este medio está algunas veces situado encima de la union de que estan suspendidas las bolas, como sucede en la máquina horizontal delineada en la Lám. 4, y otras debajo como en la de alta presion Lám. 5, ó la figura separada del regulador fig. 2, Lám. 4. En todos estos casos dá movimiento á una palanca que obra por el otro estremo sobre una vara, que dá movimiento al mango ó palanca de la válvula de conexion, estando dispuesto este sistema de palancas de manera que ésta se abre enteramente cuando las bolas del regulador estan en su mas baja posicion, cerrán-



dose enteramente cuando llegan á la máxima separacion que pueden adquirir por el impulso de la fuerza centrífuga; en el primer caso todo el vapor formado en la caldera pasa á la máquina, y en el segundo se intercepta enteramente.

442. Las máquinas de condensacion y accion doble que hemos descrito son las que se usan mas comunmente en las fábricas, sobre todo en Europa, y no podrá menos de observarse que tienen á lo menos una parte innecesaria á su accion, cual es la palanca: su aplicacion primitiva fue la de sacar agua, y como para este objeto era indispensable el guimbalete, se convirtió éste en palanca luego que se hizo doble; siguióse adelantando en la perfeccion del mecanismo, mejorando el sistema establecido sin inventar otro, resultando por consecuencia forzosa la conservacion de una parte innecesaria y embarazosa del aparato. Fulton dió á las máquinas que destinó á dar movimiento á los barcos de vapor una figura mas sencilla, que es preferible en muchos casos, y que está representada en la Lám. 7, y en ella se observará la supresion de la palanca y del movimiento paralelo. Para la sustitucion de ambas se adapta una cruceta *A* al estremo superior del asta del émbolo *B*, que trabaja entre las dos guias verticales *a*, *a*, y tiene conexion con dos cigüeñas *c*, *c*, por medio de las dos barras de conexion *b*, *b*, *b*, *b*, á las que está unido el eje de las ruedas hidráulicas *D*, *D*; y el eje del volante puede del mismo modo recibir el impulso por estas cigüeñas cuando se trata de destinar las máquinas á objetos corrientes.

443. Las bombas estan movidas por una palanca *E*, *E* mucho mas ligera que necesitaria ser la de la figura antes descrita y de solo la mitad del largo de aquella; termina en horquilla por el estremo inmediato al Cilindro, al que abraza, y está unida con la cruceta *A* del asta del émbo-

lo *B* por medio de las barras de conexion *d*, *d*. El modo de obrar de esta máquina cuando se destina á dar movimiento á los barcos se esplicará en otro lugar.

444. Cuando se trata de dar movimiento á una máquina de vapor es necesario llenar de agua la caldera, encender el fuego y hacer adquirir al vapor la tension conveniente; los tubos laterales, el de vapor, el Cilindro, el condensador y la bomba neumática estarán llenos de aire y todos frios, de forma que antes de empezar á trabajar es necesario espeler éste, y calentar todas las partes de la máquina para dar al vapor el temple aparente, á cuya operacion se llama *preparar la máquina.* Las válvulas se abren y cierran á mano, por cuyo medio entra el vapor en todas partes, y siendo mas ligero que el aire, obliga á este á pasar del Cilindro al condensador, y á escaparse por una válvula dispuesta al intento, que se adapta generalmente al condensador por medio de un tubo que forma codillo, doblándose hácia arriba. El tubo está cerrado por una válvula cónica que abre hácia afuera, de forma que pueda abrirla el aire que hay en el condensador, cuando el vapor lo oprime; y se conoce que está concluida la salida del primero cuando, si la válvula de que se trata está colocada por debajo del nivel del agua que contiene el depósito de la fria, se oye un ruido ligero. En la máquina que representa la Lám. 3, la válvula no está situada en esta forma, sino adaptada á uno de los lados del tubo lateral comunicando directamente con el condensador. Luego que corre el vapor por sí solo, se abre la llave de inyeccion, y verificándose la condensacion de éste rápidamente en el condensador, la presion del de la caldera llega á ser muy pronto la suficiente para dar movimiento á la máquina; se aplica entonces la escéntrica á la cigüeña del balancin, y sigue aquella trabajando por sí sola.



Idea general de las máquinas de condensacion que obran espansivamente, de las de alta presion, de las de accion sencilla y de las atmosféricas. Descripcion de las de alta presion.

Regulacion del vapor por medio de las válvulas en las máquinas de condensacion. — Fuerza espansiva del vapor, supuesta la temperatura constante. — Fuerza espansiva del vapor en una máquina y á una tension dadas, y bajo la misma hipótesis. — Fuerza espansiva del vapor de tension dada y temperatura constante, tomando en consideracion la friccion y la resistencia. — Accion espansiva y tensiones crecientes con temperaturas que varian, segun las leyes del calor específico. — Efectos del vapor que obra espansivamente como se emplea es el uso comun. — Accion del vapor de alta presion que no se condensa. — Casos en que son convenientes las máquinas de alta presion. — Recapitulacion de las precauciones que deben tomarse en las calderas que producen vapor de alta presion. — Idea general de las máquinas de alta presion, de sus tubos de vapor, laterales y válvulas. — Cálculo de la potencia de las máquinas de alta presion, de su palanca, movimiento paralelo, válvula de comunicacion, regulador, y bomba de fuerza. — Idea general de las máquinas atmosféricas de condensacion y accion sencilla. — Descripcion de las máquinas de alta presion con palanca y válvulas corredizas corta y larga. — Descripcion de una máquina horizontal de alta presion.

445. Para poner en movimiento las máquinas de con-



densacion y accion doble es necesario abrir dos de sus válvulas; una de ellas dá paso al vapor que sale de la caldera y obra sobre el émbolo, y la otra permite la salida de éste del Cilindro al condensador, y están unidas de forma que se abren y cierran á un tiempo; siendo ambas las que con movimiento alternado dan impulso al émbolo en direcciones opuestas. Las dos necesitan cierto espacio de tiempo para abrirse enteramente, y por consiguiente el movimiento del émbolo al principio, y su cambio en cada variacion de direccion sucesiva se verifica gradualmente; tambien pueden cerrarse las válvulas antes de que la máquina haya llegado á los límites de su viage, evitándose por este medio en cierta manera, el choque que sufriria ésta en caso contrario, y la pérdida de fuerza consiguiente.

446. Este objeto puede conseguirse con mas facilidad y precision interceptando el vapor anticipadamente en el movimiento del émbolo, mientras está aun abierta la comunicacion con el condensador.

447. Cuando se intercepta asi el vapor no pierde toda su potencia, ni disminuye repentinamente de fuerza, porque siendo elástico, y obrando contra un vacío parcial en el condensador, se dilatará hasta que llene el Cilindro, ó hasta que la friccion y la resistencia del vacío parcial del condensador llegue á ser equivalente á su propia fuerza espansiva. Watt, que fue el inventor de la máquina doble de condensacion, fue el primero que conoció las ventajas que podian sacarse de esta propiedad para aumentar el efecto de una cantidad de vapor dada, deduciendo que si el Cilindro está parcialmente lleno y se intercepta asi el vapor, todavia obrará espansivamente; y toda la fuerza que continue ejerciendo es otra tanta que se gana. No haciendo aprecio de la disminucion de la temperatura producida por el cambio de la relacion que hay entre el vapor

y el calor específico, la fuerza del vapor espansivo disminuirá en progresion geométrica, y puede calcularse por medio de las tablas de logaritmos hiperbólicos.

448. Procediendo de este modo, la potencia de una cantidad dada de vapor aumentará en las razones que espresa la siguiente

Tabla de los efectos absolutos de la fuerza espansiva de una cantidad dada de vapor, suponiendo constante su temperatura.

Cilindro totalmente lleno....	Potencia del vapor...	1'0.
	á la mitad..............................	1'69.
	al tercio..............................	2'10.
	al cuarto..............................	2'39.
	al quinto..............................	2'61.
	al sesto..............................	2'79.
	al séptimo..............................	2'95.
	al octavo..............................	3'08.

449. Del resultado de esta teoría se infiere lo ventajoso que es usar del vapor espansivamente; pero para sacar de ella todo el partido posible seria necesario dar nueva forma á la máquina y variar sus dimensiones; y para usar de igual cantidad de vapor seria preciso que los tubos de vapor, las aberturas y aun el Cilindro aumentasen de tamaño, en la razon que hay entre la parte del último ocupada, y la totalidad de su cabida. No alterándose aquellas partes el consumo del vapor de igual temperatura, disminuirá en la misma razon inversa; y cuando obre sobre el émbolo lo ejecutará segun la razon siguiente:

Efectos absolutos del vapor que obra espansivamente en una máquina dada, suponiendo constante la temperatura.

Cilindro.	*Potencia.*	*Pérdida de vapor.*
Lleno enteramente...	1.00...............	1.
á la mitad......	0.84...............	$\frac{1}{2}$.
al tercio........	0.70...............	$\frac{1}{3}$.
al cuarto.......	0.57...............	$\frac{1}{4}$.
al quinto.......	0.52...............	$\frac{1}{5}$.
al sesto.........	0.46...............	$\frac{1}{6}$.
al séptimo......	0.42...............	$\frac{1}{7}$.
al octavo.......	0.39...............	$\frac{1}{8}$.

450. Este cálculo está fundado segun se ha dicho (artículo 447) sobre la hipótesis de ser la temperatura constante é invariable, lo que está muy distante de suceder; porque en el vapor, asi como en todas las demas materias, aumenta la propension para recibir el calor específico durante su espansion, y su temperatura y elasticidad consiguiente disminuyen.

451. Es necesario tener despues presente que á la potencia absoluta del vapor se opone una resistencia constante bajo la forma de friccion é imperfeccion del vacío del condensador, que asciende á $7\frac{1}{2}$ libras por pulgada cuadrada ó media atmósfera; por tanto el que segun se ha visto (art. 375) obra con una potencia espansiva de $17\frac{1}{2}$ libras por pulgada cuadrada, es solo capaz de vencer una resistencia de 10 libras. Asi pues en las máquinas que trabajan con baja presion la ventaja que se adquiere haciéndola obrar espansivamente, cesará si se intercepta el vapor antes de la mitad del viage, porque á los 0'53 las resistencias serán iguales á la fuerza espansiva, aun en el caso de mantenerse la temperatura constante, lo que no puede



suceder segun hemos indicado. No hay duda de que el movimiento podria conservarse algun tiempo por medio de la accion del volante, pero aun asi no tomando en consideracion las irregularidades que se verificarian, disminuiria con mas rapidez la accion efectiva segun aparece de la tabla siguiente:

Efectos de la accion espansiva del vapor en una máquina dada, haciendo aprecio de la friccion, y suponiendo la temperatura constante.

Cilindro lleno con vapor de 17½ libras.	*Potencia media efectiva.*
Lleno enteramente	1'00.
á la mitad	0'72.
al tercio	0'48.
al cuarto	0'26.
al quinto	0'17.
al sesto	0'06.
al séptimo	0'00.

452. De todo lo dicho nos creemos autorizados para establecer que, cuando una máquina obra espansivamente, no debe jamás permitirse que el vapor se dilate mas del doble espacio que ocupa bajo la presion atmosférica.

453. Para conseguir igual efecto trabajando con baja presion debe ser la máquina cerca de una mitad mayor en su capacidad, y el gasto del combustible será las tres cuartas partes del que se necesitaria, empleando el vapor en la forma generalmente usada, lo que es solo ventajoso en el caso de escasear aquel, siendo ésta la única utilidad real que se consigue haciendo obrar espansivamente al vapor de baja presion.

454. Como el vapor puede usarse con presion cre-



ciente, puede tambien investigarse su accion espansiva bajo otro punto de vista. Si tuviese la fuerza espansiva de atmósfera y media, se dilataria al tiempo de llenar el Cilindro hasta esceder en media atmósfera al límite señalado á la presion; la fuerza original efectiva, despues de deducir la resistencia, sería de 15 libras por pulgada cuadrada, y la accion media de las dos terceras partes del total ó 10 libras por pulgada durante todo el viage; por tanto la máquina no llegaria á tener la potencia que espresa su poder nominal.

455. El vapor bajo la presion de $1\frac{1}{2}$ atmósferas tiene, no haciendo aprecio de la temperatura, una densidad vez y media mayor que bajo la simple presion atmosférica; por tanto para llenar asi una tercera parte del Cilindro se necesitará la evaporacion de tanta agua como sería precisa para llenar la mitad de éste con vapor de 212 grados; por consiguiente una máquina que obre espansivamente, con vapor cuya elasticidad sea de $1\frac{1}{2}$ atmósferas, ejecutará bajo esta hipótesis el mismo trabajo que si obrase del modo ordinario, y consume la mitad de combustible; porque como la suma del calor latente y sensible es la misma, tanto en el vapor de alta presion como en el de baja, la cantidad de agua evaporada será igual, sea cual fuere la temperatura.

456. Si suponemos luego que el vapor tiene una fuerza elástica igual á dos atmósferas deberá dilatarse, siguiendo la misma hipótesis, hasta adquirir un volúmen cuatro veces mayor que el primitivo, antes que su elasticidad llegue á ser menor que media atmósfera, y por tanto podrá interceptarse á la cuarta parte del viage.

457. Su fuerza efectiva original, despues de deducir la resistencia constante, será de $22\frac{1}{2}$ lbs. por pga. cuadrada, y obrará con una fuerza media igual á 0.59 de ésta ó mas de 12 lbs.; por consiguiente deberá la máquina en tales



circunstancias trabajar con una cuarta parte de fuerza mas que la que resultaria calculándola por la regla comun.

458. El vapor llenaria en este caso tambien la mitad del Cilindro antes de llegar á adquirir la densidad del de 212 grados, y por consecuencia la cantidad de agua empleada y de combustible consumido, sería la misma que en el primero, y en todos los casos en que el límite de la espansion del vapor es la elasticidad igual á media atmósfera, las cantidades de agua y de combustible consumidas serán constantes: pero la potencia efectiva irá aumentando con la elasticidad del vapor segun la tabla siguiente:

Potencia relativa de una misma máquina trabajando del modo comun, ó espansivamente, suponiendo constante la espansion de la temperatura.

Vapor en atmósferas.	*Cilindro.*	*Combustible consumido.*	*Potencia efectiva.*
$1\frac{1}{6}$..........	Lleno..........	1'0........	10.
$1\frac{1}{2}$..........	al tercio........	0'5........	10.
2..........	al cuarto........	0'5........	$12\frac{1}{2}$.
$2\frac{1}{2}$..........	al quinto........	0'5........	$15\frac{1}{2}$.
3..........	al sesto.........	0'5........	18.
$3\frac{1}{2}$..........	al séptimo......	0'5........	19.
4..........	al octavo........	0'5........	20.

459. Para interceptar el vapor se usa de una válvula de la figura de la de comunicacion, que se coloca en el tubo de vapor y se sujeta y mantiene cerrada por medio de un peso ó muelle fuerte, abriéndose cuando la accion de la máquina vence la gravedad del primero ó la elasticidad del segundo; y generalmente se verifica colocando dos dientes ó canes de tamaño y figura aparente sobre el eje de la cigüeña, que pueden verse en la Lám. 4, fig. 6, en

2

que *c* es el eje de ésta; *a* y *b* dos dientes ó canes que obran sobre el muelle *g*, *d*, que está unido con el mango ó asa *c f* de la válvula de espansion, por medio de la vara *d e*: *F* es un pedazo del tubo de vapor.

460. El cálculo que se ha indicado (art. 455) de las potencias del vapor que obra espansivamente, está fundado segun se ha visto, en la hipótesis de que su espansion ó aumento de volúmen está en razon inversa de las presiones, lo que no puede suceder por las variaciones de temperatura que produce el mismo acto de la espansion; asi pues, el vapor de una tension igual á media atmósfera tiene una temperatura de 180 grados, y una densidad equivalente á 0.00032, mientras que con una tension de 2, 3 y 4 atmósferas tiene las densidades siguientes:

2 atmósferas..................	0'00111.
3...........................	0'00160.
4...........................	0'00210.
Vapor de 2 atmósferas que se dilata hasta cuadruplicar su volúmen, tiene una densidad de..	0'00028.
De 3, aumentando 6 veces el volúmen......................	0'00027.
De 4 aumentándolo ocho.......	0'00026.

461. En vasijas que no dieran ni quitaran calor la tension y las temperaturas disminuirian en los tres casos distintos del párrafo anterior, en las razones de $\frac{32}{28}$ ó $\frac{8}{7}$, $\frac{32}{27}$ y $\frac{32}{16}$ ó $\frac{16}{8}$; pero en las máquinas de espansion puede elevarse rápidamente la temperatura del Cilindro antes que empiece á dilatarse, y el vapor al ejecutarlo adquirirá calor de aquel; el método que algunas veces se sigue en las máquinas de baja presion de encerrar el Cilindro en la funda llamada capa, seria mucho mas útil en las de espansion, y

la disminucion de la tension producida por la densidad disminuida seria contrarrestada por el aumento de calor, lo que se conseguiria, sin embargo, á costa de la disminucion de temperatura del vapor que toca á la superficie de éste, siendo por consecuencia necesario aumentar proporcionalmente la capacidad de la caldera. Debe tambien tenerse presente que la comparacion de las máquinas que obran activamente, segun se ha establecido en el art. 458 no es absolutamente exacta, y que para que lo fuera seria necesario aumentar una octava parte la superficie de la caldera espuesta al fuego, á la presion de dos atmósferas, y una quinta á la presion de cuatro; y aumentar proporcionalmente el peso de la válvula de seguridad, lo mismo que el gasto del combustible que creceria en igual grado. Las ventajas que se consiguen disponiendo las máquinas para obrar espansivamente son tan importantes, á pesar del aumento de consumo de combustible, que una que trabaje con vapor de la tension de $4\frac{4}{5}$ atmósferas, y que se intercepte este á $\frac{1}{8}$ del viage del émbolo, ejecutará doble trabajo que una que reciba vapor de baja presion, y consuma o'6 del combustible que necesita la primera. Corrigiendo bajo estos principios los cómputos primitivos, obtendremos los resultados siguientes, que manifiestan el verdadero efecto que puede producir la misma máquina obrando con baja presion ó espansivamente, y estando cargada con diversos pesos la válvula de seguridad.



Potencia relativa de una misma máquina, obrando con baja presion ó espansivamente, teniendo en consideracion la variacion de la relacion que hay entre la espansion del vapor y la temperatura.

Peso de la válvula de seguridad.	*Cilindro.*	*Combustible consumido.*	*Potencia efectiva.*
3 libras......	enteramente lleno......	1'0.......	10.
10............	al tercio.......	o'55........	10.
19............	al cuarto.......	o'56.......	12'5
27............	al quinto.......	o'57.......	15'5
36............	al sesto........	o'58........	18.
46............	al séptimo.....	o'59.......	19.
57............	al octavo......	o'60.......	20.

462. Por mas alto que parezca todavia este reducido cálculo de la potencia de las máquinas que obran espansivamente, es aun considerablemente menor que el que se deduciria de las investigaciones originales de Watt y Robinson; difiere mas notablemente de la opinion de Woolf, que establece que el vapor bajo la presion de cinco libras ademas de la de una atmósfera, adquiere el poder de dilatarse hasta adquirir cuatro veces su volúmen primitivo, sin dejar de igualar en elasticidad á la atmósfera; y si se produce ó forma bajo la presion de diez libras se dilatará diez veces, y todavia conservará la fuerza de una atmósfera. Estas aserciones son sin embargo enteramente erróneas, porque estan en contradiccion directa con la naturaleza del vapor y con las relaciones que tiene este con la presion y la temperatura, siendo por tanto la que dejamos indicada en la tabla antecedente, la mas aproximada y digna de confianza; y hubiera sido muy conveniente que

hubiesemos podido conseguir el resultado de esperimentos prácticos para corroborar estas combinaciones teóricas, que no se han ejecutado todavia á pesar de que las máquinas de varios barcos de vapor que navegan en el rio del Norte (*Hudson*) obran espansivamente con notables ventajas, y de no haberse sacado de este principio toda la utilidad que es susceptible de producir.

463. De todo lo dicho se deduce que es sumamente ventajoso disponer las máquinas para que obren espansivamente, y el beneficio será todavia mayor si se considera que no es necesario para la adopcion variar el tamaño y figura de la caldera, ni aumentar el calibre de los tubos y conductos del vapor; de modo que puede hacerse que la misma máquina ejecute doble trabajo del que ejecutaria por el método comun de emplear el vapor en baja presion y no interceptarlo, con el gasto de los o'6 de combustible.

464. Este principio tan apreciable como aparece de los cálculos que anteceden ha sido mezquinamente aplicado á la práctica, pues de todos los datos que hemos estado en el caso de reunir se deduce, que nunca ha escedido la presion del vapor empleado de $1\frac{1}{2}$ atmósferas, en cuyo límite las ventajas del método pueden escasamente desenvolverse, de modo que no se aumenta el poder de la máquina, aunque se economiza mucho combustible.

465. Cuando se trabaja con vapor de la tension de $1\frac{1}{2}$ atmósferas es costumbre interceptarlo á medio viage: la verdadera presion media, calculada bajo los principios establecidos en el art. 458 llega á $12\frac{1}{2}$ lbs. por pga. cuadrada; y las cantidades de agua evaporada y de combustible consumido, son iguales á las tres cuartas partes de las que se emplearian trabajando con toda la estension del viage, y con vapor de una atmósfera, en cuyo caso se hace necesario aumentar las areas de las válvulas escediendo á las



proporciones dadas en la descripcion de las máquinas de condensacion (art. 416).

466. Cuando se usa del vapor de alta presion para dar movimiento á las máquinas es lo mas general hacerlo obrar sin el auxilio del condensador, y por consiguiente oponiéndose á la presion total de la atmósfera.

467. En semejante caso llega á ser aquella mucho mas sencilla, puesto que se puede escusar el condensador, y las bombas neumática, de agua fria y caliente, reemplazando á esta última una aspirante para alimentar la caldera; siendo necesaria una bomba comun en muchos casos para elevar la destinada al reemplazo. El déposito de agua fria y el agua de condensacion no son tampoco precisos, resultando de todas estas supresiones una considerable disminucion de peso, que es en muchos casos sumamente importante.

468. Al tiempo de calcular las resistencias que encuentra la accion del vapor debe tenerse presente que la imperfeccion del vacío de las máquinas de condensacion se destruye por la presion atmosférica en las máquinas en que este no se condensa, y que las resistencias que en el primero estaban apreciadas en $7\frac{1}{2}$ lbs. por pga. cuadrada, pueden disminuirse por esta causa, asi como por ser innecesaria la fuerza que debia dar movimiento á las bombas neumática y de agua fria; las otras resistencias que no tienen relacion con la presion de la atmósfera no pueden apreciarse en mas de 5 lbs. por pga. cuadrada, cuya cantidad unida á la presion atmosférica dá una resistencia constante á la presion del vapor en las máquinas de alta presion equivalente á 20 lbs. por pga. cuadrada; por tanto el vapor de la fuerza espansiva de dos atmósferas trabajará en un Cilindro dado con la misma fuerza que el de $17\frac{1}{2}$ lbs. trabajaria en una máquina de condensacion. Pero como el vapor bajo la presion de dos atmósferas, tiene menos de las

dos terceras partes de la densidad del de $17\frac{1}{2}$ lbs. por pga. es evidente que será necesario para llenar el Cilindro hacer evaporar $1\frac{1}{2}$ veces la cantidad asignada de agua; lo mismo sucederá con el consumo del combustible, siendo asi la pérdida que se esperimentaria en el caso presente de 50 por ciento usando máquinas de alta presion.

469. Si el vapor tiene la presion de $2\frac{1}{2}$ atmósferas su fuerza efectiva será de $17\frac{1}{2}$ libras por pulgada cuadrada, y estará con el de las máquinas de condensacion y presion baja en la razon de 7 : 4; pero para llenar el Cilindro con vapor de densidad correspondiente seria necesario consumir doble cantidad de combustible.

470. A la presion de tres atmósferas la potencia efectiva del vapor llega á ser de 25 libras por pulgada cuadrada, y está con el de las máquinas de baja presion en la razon de 5 : 2; y para llenar el Cilindro con vapor de esta densidad seria necesario que el combustible consumido estuviese en la misma razon; por consiguiente en este límite la potencia de las máquinas de alta y baja presion, que consuman igual cantidad de combustible, llegará á ser igual.

471. Con cuatro atmósferas de vapor la presion efectiva llega á 40 libras, el consumo de combustible está en la razon de 3 : 1 próximamente, y en este caso la máquina de alta presion tiene una ventaja en la razon de 4 : 3.

472. En cinco atmósferas la presion efectiva es de 55 libras por pulgada; la razon del agua evaporada y combustible consumido es de 3'75 : 1, y reuniendo estos y los otros cálculos que pueden hacerse en una tabla, resultará la siguiente:



Efectos del vapor de alta presion, aplicado al trabajo de las máquinas.

Presion en atmósferas.	Combustible en la misma máquina.	Potencia en la misma máquina.	Potencia con el mismo combustible.
2.......	1'5	1	0'75.
2½......	2	1'75.......	0'875.
3.......	2'5	2'5	1'000.
4.......	3	4	1'333.
5.......	3'75......	5'5	1'46.
6.......	4'5	7	1'55.
10.......	7	13	1'86.
20.......	14	28	2'00.
30.......	20	43	2'15.
40.......	26	58	2'23.

473. De la inspeccion de la tabla antecedente se deduce que los efectos ventajosos de las máquinas de alta presion, aumentan todavia mas despacio que la fuerza elástica del vapor, lo que procede del principio de que la densidad del vapor aumenta próximamente tan pronto como la presion bajo la que está formado. Si ambas aumentasen en la misma razon no se obtendria la menor ventaja del uso del de alta presion. Por consiguiente las máquinas de esta clase son muy inferiores en potencia á aquellas en que el vapor obra espansivamente condensándose despues, como se deducirá de la comparacion de la tabla precedente con la inserta en el art. 458.

474. Hay sin embargo casos en que las máquinas de alta presion son preferibles á todas las demas, p. e. cuando escasea el agua, pues no siendo necesario condensar el vapor se ahorra la que se emplearia en esta operacion,



que es como se ha esplicado (art. 362), 22 veces mas que la que se evapora en la caldera. Tambien se disminuye el peso de la bomba neumática, del condensador, de los depósitos de agua fria y caliente, y de la que estos contienen; por consiguiente solo pueden servir las máquinas de que se trata aplicándolas para locomotores, como las que se destinan á dar movimiento á los carruages sobre caminos de carriles de hierro, porque son mucho mas sencillas estando compuestas de menos piezas, y ocupan menos lugar que las de condensacion, obren ó no espansivamente.

475. Si se construye una máquina dispuesta para aprovechar las mayores ventajas de la espansion del vapor, ó si se le dá la forma de las sencillas de alta presion, en las cuales el vapor despues de obligar al émbolo á ejecutar su movimiento, se escapa al aire libre, es necesario fabricar la caldera de modo que pueda producir y contener vapor de gran fuerza elástica. Las comunes de la segunda especie trabajan generalmente con vapor de cinco á seis atmósferas, y no hay duda de que las de espansion deben disponerse de manera que trabajen ventajosamente con poco menos de cinco: el peso de la válvula de seguridad debe ser en este último límite de 57 libras, mientras que si el vapor contenido fuese de seis atmósferas, deberia ser aquel de 75 libras por pulgada cuadrada; restando solo averiguar hasta qué punto es compatible la seguridad con el uso del vapor de aquella fuerza espansiva.

476. En el capítulo III se han esplicado estensamente los principios en que se funda la resistencia de las calderas, y de ellos se deduce que la figura cilíndrica es la mas aparente que puede dárseles, y que las de esta forma y pequeño diámetro, pueden hacerse capaces de resistir la presion regular de mas de seis atmósferas; que disminuyendo aquel se aumenta la resistencia en la razon inversa del cuadrado del diámetro, y que reduciendo esta dimen-



sion puede conseguirse cualquiera resistencia. La aplicacion de la prensa hidráulica manifiesta primeramente la fuerza cohesiva del metal y de las juntas para resistir la presion dada, y se completa la prueba sometiendo la caldera á la accion de vapor de mucha mayor fuerza elástica que el que nunca debe llegar á resistir en la práctica. El atmósmetro indica al maquinista si la presion es inferior al límite señalado, y la válvula de seguridad se abre cuando llega á igualarlo. En caso de falta ó escasez en el reemplazo del agua, ó entorpecimiento en su aparato, deberá señalar un termómetro el aumento de calor que hará derretir las planchas de metal fusible tan pronto como éste esceda al límite de seguridad. Un aparato de reemplazo que obra por sí mismo, proporciona el agua necesaria, para cuya falta sirve de salvaguardia el últimamente mencionado. Registros y apagadores proporcionan moderar el fuego, y aun estinguirlo enteramente siempre que llega á ser necesario; la tendencia que tiene el depósito de materia sólida á adherirse al fondo de la caldera se disminuye mezclando al agua que contiene esta cantidad proporcionada de fécula vegetal, y se evita limpiándola cuidadosa y periódicamente, libertándose asi del riesgo que produciria esta causa. Si una máquina ha de trabajar constantemente, nunca debe tener menos de dos calderas, para que mientras sirve la una descanse y se componga la otra; y siempre que el trabajo sea constante debe haber una caldera de respeto: si el objeto á que está destinada la máquina es de naturaleza capaz de obligar alguna vez á los que la dirigen á aumentar la fuerza del vapor hasta esceder el límite adecuado, debe haber dos válvulas de seguridad, una de las cuales estará fuera de su alcance.

477. Ninguna de estas precauciones debe omitirse cuando se usa el vapor de alta presion, á menos que no sea absolutamente imposible: en las máquinas locomotrices, y



en los barcos de vapor no se acostumbra tener calderas de respeto, cuya necesidad puede evitarse sin embargo, señalando determinados periodos de descanso para limpiarlas y reconocerlas.

478. Con tales precauciones no vacilamos en asegurar que las calderas en que se forma el vapor de alta presion pueden estar tan poco espuestas á riesgos como las de baja; y aunque es cierto que la causa mas comun de las esplosiones es la esposicion de los tubos de calor metálicos, y de las paredes de la caldera á la accion del fuego, cuando no estan cubiertos de agua, que afecta lo mismo á las de baja presion que á las de alta, en los dos casos de esplosion que han ocurrido recientemente en el puerto de New-York, uno sucedió á una caldera de cobre que contenia vapor de baja presion, y el otro en una de hierro con vapor de alta; pero aun cuando tomándose todas las precauciones convenientes las calderas de alta presion pueden ser tan poco propensas á reventar como las destinadas para producir vapor de baja, las esplosiones de éstas, cuando llegan á verificarse, causan menos estragos que las de aquellas. Dos veces hemos sido testigos de roturas de calderas en barcos de vapor que trabajaban con vapor de baja presion, y en ninguna de ellas se conoció la averia por otra indicacion que la suspension del movimiento de la máquina; y asi sucederá siempre que revienten bajo la presion ordinaria del vapor, porque suponiendo que la válvula de seguridad esté cargada con un peso de 3 lbs. por pga. si se escapa la quinta parte del vapor se restablecerá el equilibrio entre las partes interior y esterior de la caldera; y aunque llegase el caso de que la esplosion se verificase en el límite de su prueba, la cantidad de vapor que puede escaparse es poco mayor que la mitad del que contiene.

479. En las calderas que encierran vapor de cuatro á



cinco atmósferas hay un respiradero, que permite que aquel se dilate cuatro ó cinco veces de su volúmen primitivo en circunstancias ordinarias; pero si esto se verificara en el límite de la prueba, por haber cesado su accion la válvula de seguridad, tendria el vapor tendencia á dilatarse hasta diez ó doce veces, y aun en el primer caso sería peligrosa la esplosion. Cualquiera de estas que pueda suceder á las calderas de baja presion nace de llegar el agua á un nivel inferior del que debe tener, y la misma debilidad del material de que estan hechas es otra causa de seguridad; pero ademas de correrse el mismo riesgo en las de alta presion, hay tambien el de que la esplosion, aun llegándose á verificar en el estado comun del vapor, es sumamente peligrosa.

480. Sin embargo toda caldera que haya sufrido la prueba correspondiente y que se reconozca en periodos establecidos, no puede reventar enteramente, á no ser por entorpecimiento de la válvula de seguridad, ó por no estar cubiertas de agua las superficies espuestas á la accion del fuego: la primera desgracia puede considerarse fuera de los límites de la probabilidad mientras los atmósmetros esten corrientes; y como ambas clases de calderas estan espuestas á la segunda, es facil conocer que puede considerarse como positivo que no se corre mas riesgo usando del vapor de alta presion que del de baja.

481. Al tiempo de espresar esta opinion debemos repetir que todos los aparatos de seguridad de que hemos hablado, deben aplicarse á las calderas de alta presion, y que en los barcos de vapor y locomotores debe haber una válvula de seguridad adicional, fuera del alcance de las personas que tienen el encargo de manejarlas.

482. Recapitulando todo lo dicho es facil deducir que puede usarse del vapor de alta presion con seguridad, y creemos que llegará el caso de que no se empleen sino

23

calderas cilíndricas de esta especie, que podrán aplicarse en muchos casos á las máquinas de condensacion y espansion; y sucederá siempre que el objeto sea ahorrar peso, gasto ó espacio, como en carruages locomotores, barcos que navegan en poca agua, etc. Como son menos complicadas deben merecer tambien la preferencia donde no haya facilidad de conseguir artistas inteligentes para atender á sus composiciones y reparos.

483. Las partes de que se compone una máquina de alta presion son las siguientes:

Un tubo de vapor por el que pasa éste de la caldera al Cilindro, cuyo calibre se calcula segun la regla dada en el art. 262.

Tubos laterales que tienen conexion por un estremo con el de vapor, y con el aire libre por el otro; tienen válvulas por donde entra alternativamente el vapor en ambos lados del émbolo, ó se escapa libremente. La figura original de estas válvulas era una llave con dos conductos y cuatro aberturas, propuesta primero por Leupold, y adoptada por Trevithick y Evans; véase la fig. 2, Lám. 11, en que *N N* es el Cilindro, *a b* el tubo lateral, en cuya mediania hay una muesca cónica, á la que se adapta una seccion de un cono, con dos conductos *d e*, que forman cuatro agujeros; *c* es el tubo de vapor, y *f g* el de la salida, que en las máquinas de condensacion sirve para dar paso á aquel al condensador; *h* es la palanca por cuyo medio se hace girar la válvula un cuadrante á cada viage del émbolo, y *i* representa la posicion inferior de ésta. El vapor en la posicion de la válvula que representa la figura, corre por el tubo *v*, al través del conducto *o*, á la parte inferior del tubo lateral *b*, y desde alli entra por debajo del émbolo *k*; mientras que el vapor que está encima de éste corre por *a* al través del conducto *d*, al otro tubo *f g*; en la otra posicion de la válvula

es facil concebir el movimiento inverso del vapor.

484. A este aparato se ha sustituido en algunas máquinas hechas últimamente en este pais, una válvula corrediza corta, cuyas ventajas ha acreditado la esperiencia: se le dá moviento por medio de una escéntrica colocada sobre el eje de la cigüeña, segun puede verse en la fig. 3, Lám. 4, que representa uno de los métodos mas aparentes, siendo *A* el eje de la cigüeña, *B* la plancha circular, *a a a a* la armazon triangular, *b* la vara y tornillo de ajuste, *c* el asa, *d* el brazo del balancin, *e* el eje de éste, *f f* el huso de la válvula corrediza, *g g* la caja de vapor, *H* el tubo de vapor, *S* el tubo de salida, y *k k* el fondo del Cilindro, que tiene la pieza *l l* fundida por donde pasa uno de los conductos del vapor. El plano y perfil de esta válvula estan representadas en la fig. 5, Lám. 2.

485. El Cilindro es semejante al de las máquinas de condensacion, y está provisto de un émbolo con su asta, que pasa por una abertura de su tapa á prueba de vapor.

486. La potencia de una máquina se halla multiplicando la presion efectiva del vapor por pulgada cuadrada en libras, por el area del émbolo en pies, y este primer producto por el número de viages en un minuto; y partiendo el segundo por 33.000 resulta el número de caballos al cuociente. La presion efectiva del vapor es de 20 lbs. menor que la fuerza espansiva absoluta ó 5 lbs. menor por pga. que el peso que sujeta la válvula de seguridad, que se hace generalmente igual á dos terceras partes de la presion del vapor, que es la verdadera cantidad cuando éste equivale á cuatro atmósferas, ó que la válvula de seguridad esté cargada con 45 lbs. por pga. cuadrada.

487. La potencia del émbolo puede hacerse obrar en los puntos de accion de las máquinas de alta presion del mismo modo que en las de condensacion, y todo lo dicho en los artículos 335 y siguientes es aplicable á las

:



primeras; cuando es necesario regular el movimiento de aquellas se adapta un volante á la cigüeña; y siempre que el trabajo requiera velocidad constante se establece un regulador sobre la válvula de comunicacion.

488. El movimiento paralelo para una máquina de alta presion está representado en la Lám. 4, fig. 1: *c d* es la palanca, *b* el asta del émbolo, *c* y *d* los ejes del movimiento paralelo, *e* el pernete á que está hecha firme el asta del émbolo, *g g* una parte de la armazon que sostiene el pernete *h* del radio, *c e* y *d f* los tirantes, *h f* el radio, y *e f* la barra paralela.

489. El regulador de las máquinas de alta presion está representado en la misma Lám. fig. 2: *a* y *b* son las dos ruedas dentadas de canto inclinado; *c d* el eje del regulador; *e c* bolas ó esferas suspendidas por barras que estan unidas á un anillo fijo *f*; *g* anillo ó abrazadera que corre á lo largo del eje *c d*, por el movimiento de las barras *g h*, *g h*; *i i* es un arco de círculo que forma un ojo en cada estremo en que obran las barras *f h*, *f h*; *g h k* palanca que se mueve sobre el punto *k*; *l*, *l* barra de conexion que une el estremo *l* de la palanca á el asa ó palanca de la válvula de comunicacion.

490. La bomba impelente que alimenta la caldera, y la de elevacion que saca el agua que inyecta la primera, reciben el movimiento de sus astas por la palanca á que estan unidas; cuando no se usa ésta se les dá movimiento por medio del asta del émbolo, disponiendo el mecanismo necesario al intento.

491. Dispuestas de este modo las máquinas de alta presion pueden servir lo mismo que las de condensacion y accion doble; pero hay sin embargo algunas que no son propias mas que para producir accion recíproca, y que siendo de antigua fábrica aunque de menos valor, no pueden destinarse sino á pocos objetos. Asi sucede con las

sencillas de condensacion en las que la palanca, que está cargada de un contrapeso en el estremo opuesto al á que está unida el asta del émbolo, descansa sobre la tapa del Cilindro cuando la máquina está parada. Para darle movimiento se llena este y los conductos de vapor, se abre la comunicacion entre la parte inferior del émbolo y el condensador, y la presion del vapor en la parte superior obliga al émbolo á bajar hasta el fondo del Cilindro; se cierran entonces las válvulas de vapor y de condensacion, y se abre la tercera, que establece la comunicacion entre las partes opuestas del émbolo, y no encontrando entonces mas resistencia el movimiento de éste que la friccion, prepondera el peso colocado en el estremo opuesto de la palanca, volviendo á situar al émbolo en su posicion primitiva, y corriendo el vapor por la válvula abierta y tubo de vapor, desde la parte superior del émbolo á la inferior.

492. En esta máquina no obra el vapor sobre el émbolo mas que en el movimiento descendente, pues para el ascendente no es necesario aplicar fuerza alguna; esta accion puede aprovecharse con utilidad destinándola cuando baja, á elevar algun peso que pueda á su bajada ejecutar otro trabajo de los que exigen esta clase de movimiento alternado, y generalmente las máquinas de que se trata se aplican á sacar agua por medio de una bomba aspirante.

493. En ellas es innecesario el movimiento paralelo, y se une el asta del émbolo á la palanca por medio de una cadena, que se adapta á un segmento de círculo que tiene el estremo de ésta; y la de la bomba que está cargada con un peso conveniente, está hecha firme al otro por el mismo método.

494. La bomba neumática, y las de agua fria y caliente, reciben el movimiento por varas, que estan aseguradas á la palanca.

495. Como en esta máquina no obra la potencia mas que durante uno de los movimientos del émbolo, facilmente se deducirá que solo tiene la mitad de la de condensacion y accion doble de las mismas dimensiones, siendo ademas aplicable á muy pocos objetos; y como estos pueden conseguirse con una de las últimas de la mitad del tamaño, las primeras han llegado á abandonarse, despues de haber servido por mucho tiempo para desaguar las minas, y proveer de agua á las poblaciones.

496. En el primer periodo de la historia de las máquinas de vapor se usó de una en que el aire atmosférico obrando sobre el émbolo, es el móvil primitivo; y el vacío en la parte baja de éste, se hace por medio de la condensacion que se ejecuta dentro del mismo Cilindro: ésta máquina es muy inferior á las que tienen condensador separado, por las razones esplicadas en los artículos 332 y siguientes, y tambien en potencia á las máquinas en que el vapor es la accion del movimiento, porque éstas se hacen siempre de modo que obren con una fuerza algo mayor que la simple presion atmosférica.

497. Las dos figuras de las máquinas de que se trata no se usan ya ahora por ser demasiado antiguas, y como la de las de espansion no difieren de las de condensacion y accion doble, nos limitaremos á describir las de alta presion, reservándonos el tratar de las otras cuando publiquemos la historia de la invencion y adelantos de las máquinas de vapor.

498. La Lám. 5 representa una máquina de alta presion de fuerza de 30 caballos, hecha por la compañía de fundicion de West Point.

A Cilindro cuyo émbolo tiene un viage de cerca de $3\frac{1}{3}$ diámetros; está colocado sobre un depósito rectangular 1, al través del cual pasa el tubo de desahogo del vapor, calentando el agua que se eleva por medio de

una bomba, que no está representada en la figura.

El asta del émbolo *b*, aparece solamente en el perfil, estando cubierta en la elevacion por las guias *c c*, entre las que se mueve la cruceta; está asegurada á la palanca *D* por eslabones *a a*, cuyo largo de centro á centro es igual á la mitad del viage de aquella.

D palanca; la longitud de cada uno de sus brazos es algo mayor que tres veces el viage de la máquina.

E barra de conexion.

F cigüeña.

G G volante.

H depósito de agua al través del cual pasa el vapor, que se deja escapar por un tubo que le permite salir por el respiradero *r r*.

f f escéntrica que dá movimiento al balancin K, á que está unida por medio de barras de conexion una cruceta *l*, que dá movimiento á la válvula corrediza colocada dentro del tubo lateral *B*.

g g cadena sin fin que pasa por encima de tambores que hay en el eje de la cigüeña, y en el vertical de las ruedas dentadas de canto inclinado.

h dos ruedas dentadas de canto inclinado que dan movimiento al eje del regulador *K*: cuando las bolas de éste se separan hacen elevar un estremo de la palanca , cuyo estremo opuesto baja, y cierra la válvula de comunicacion, colocada en el punto *c* del tubo de vapor.

d asta de la bomba impelente que hace pasar el agua desde el depósito *H* á la caldera.

499. La fig. 4, Lám. 2, representa una seccion del Cilindro de esta máquina, y de su válvula corrediza, en la que *f* es el conducto inferior del vapor, *e* el superior, *h l* aberturas del tubo corredizo que se adaptan alternativamente á los conductos *e*, y *f*; *g* tercera abertura del tubo de vapor, representada en el acto de adaptarse al conducto

de evacuacion; *m* conducto de evacuacion, al que se adaptan alternativamente las aberturas *l* y *g*; *i i* parte interior del tubo lateral, dentro del que se mueve la válvula corrediza por medio de su huso; *k* huso unido á la escéntrica por varas.

500. La fig. 5 de la misma Lámina representa otra válvula corrediza de las máquinas de alta presion en su conexion con el Cilindro: *a*, *b*, *c*, *d*, es un rectángulo de hierro fundido, llamado *Caja de vapor*, que lo recibe constantemente de la caldera; en su lado inferior hay tres aberturas *g*, *c*, *f*, representadas en el plano: dentro de la caja hay un diafragma *g*, de figura de artesa rectangular, cuya cara descubierta está hácia abajo, y cuyo fondo se aplica á la plancha inferior de la caja de vapor, contra la que la oprime éste; el tamaño del diafragma está calculado de modo que cubre dos aberturas de la plancha del fondo, dejando descubierta la tercera, por cuyo medio una de las dos aberturas laterales comunica siempre con la del medio al través del diafragma, mientras la otra recibe el vapor de la caja, y éste se mueve adelante y atrás por medio del huso *h*, que recibe el movimiento de una escéntrica. La abertura central *c* comunica con el tubo de evacuacion por el que se escapa el vapor, y las otras dos la una con la parte superior del Cilindro, y la otra con la inferior; y en las posiciones variables del diafragma corredizo entra alternativamente el vapor de la caja y tiene facilidad para escaparse por el tubo de evacuacion, al través de estas aberturas.

501. La Lám. 6 representa una máquina horizontal de alta presion con dos calderas cilíndricas, fabricada en la fundicion de West Point, en la que *A* es el cenicero; *B B* las puertas del horno ó fogon; *C C* las calderas; *D* el Cilindro; *E* el asta del émbolo; *F* las barras de conexion; *G G G* el volante; *H* el regulador; *S* el depósito de agua



fria; *K* la bomba impelente; *L* el depósito de agua, que se calienta por el vapor á que se dá salida; *a* el tubo de comunicacion de las dos calderas; *b b b* el tubo de vapor; *c* la válvula de seguridad; *d* la palanca y contrapeso de la válvula de seguridad; *e* el respiradero del vapor que sale de esta válvula; *f* el tubo para dar salida al vapor, despues de haber pasado por las válvulas y por los cilindros; *g* la caja de vapor con válvula corrediza; *h* el tubo por donde vá el agua al depósito *S*; *i* el tubo por donde vá el agua desde éste al de agua fria; *k* la continuacion del tubo *f*; *f f f* el movimiento paralelo para la bomba vertical impelente, *n n n* la escéntrica; *o* el balancin.

502. La fig. 6, Lám. 2, representa una seccion del Cilindro de esta máquina con su tubo lateral.

503. Se ha puesto el defecto á esta figura horizontal de máquinas de vapor de que el forro del émbolo se gasta desigualmente, destruyéndose antes el que corresponde á la parte inferior; y el de que el mismo Cilindro puede llegar al fin á adquirir figura elíptica, pero ambos son fáciles de evitar si se toman las precauciones convenientes, siendo estas máquinas ventajosas en muchos casos que se esplicarán mas adelante, y particularmente para los barcos de vapor.

504. Tambien se construyen las de alta presion sin palanca, y su figura y colocacion de sus partes es muy semejante en tal caso á la máquina de condensacion de la Lámina 7.



Aplicaciones de las máquinas de vapor.

Idea general de las aplicaciones de las máquinas de vapor.—Elevacion del agua.—Molienda de granos.—Hilado de algodon.—Navegacion.—Leyes de Bossut sobre la resistencia de los fluidos.—Principios de la accion de las paletas.—Leyes del Excmo. Sr. Don Jorge Juan de la accion de los fluidos sobre los sólidos que se mueven en ellos.—Velocidad máxima de los bajeles.—Potencia necesaria para dar movimiento á las paletas.—Relacion que existe entre la potencia y la superficie de las paletas.—Leyes del movimiento de los barcos de vapor.—Teoría de las ruedas de paletas.—Comparacion de esta teoría con la observacion.—Reglas prácticas.—Máquinas de los barcos de vapor.—Historia de la navegacion de vapor.—Aplicaciones del vapor á la locomocion.—Historia de los carruages de vapor.—Conclusion.

505. Las máquinas de vapor se aplican en el dia á casi toda especie de industria fabril, como una potencia que ha sustituido al trabajo de los hombres y animales en casi todas las artes, y en otros muchos casos en que se empleaba esta antiguamente: al principio se usaron para elevar agua y todavia tienen el mismo destino las de figura mas perfecta; se ejecutan por su medio casi todas las manipulaciones manufactureras, dan movimiento á los bajeles sobre el agua, é impulso á los carruages sobre caminos de carriles de hierro, y aun sobre los comunes.

506. Para elevar agua se dá movimiento á las bombas por medio de la palanca de las máquinas, y el resultado ventajoso que se consigue puede conocerse fácilmente sabiendo que elevan á la altura de un pie 24.000 lbs. de agua por cada caballo, calculando esta unidad segun se ha dicho (art. 373).

507. En los molinos de grano se calcula que es necesario aplicar la potencia de cinco caballos para cada par de piedras, y para ejecutar el trabajo que exige el abastecerlas de aquel, y todas las demas operaciones consiguientes; en las máquinas destinadas á este objeto se disponen movimientos giratorios de velocidad adecuada, por medio de sistemas de ruedas y piñones dentados.

508. En las máquinas de las fábricas se arreglan los movimientos del mismo modo, y seria tan fastidioso como imposible describir todas las variedades de las que se destinan á tan distintos objetos, limitándonos por tanto á decir que en el hilado de algodon se calcula que cada caballo da movimiento á 200 husos (*throstle spindles*), ó á 1.000 (*mule spindles*), y ejecuta todo el trabajo necesario para preparar el que ha de aplicarse á estos.

509. Los objetos que indudablemente requieren mayor ilustracion en este ensayo son los de dar movimiento á los bajeles, y á los carruages sobre carriles de hierro.

510. Los primeros adquieren generalmente su velocidad sobre el fluido por la accion de ruedas de paletas, y éste método que es el mas sencillo, es al mismo tiempo el que se ha encontrado preferible á todos los demas que se han propuesto: para dar movimiento á un aparato de esta clase es solamente necesario disponerlo sobre el eje de la cigüeña de la máquina, tenga esta palanca ó no, cuyo último caso está representado en la figura de la Lám. 7, en que se notará la supresion de esta parte de las antiguas máquinas, adquiriendo aquel la velocidad necesaria para completar

una revolucion en el intervalo de un ascenso y descenso del émbolo, ó en el de dos viages de la máquina. La fuerza que ejercen las ruedas depende de la velocidad con que chocan con el agua, que es igual á la diferencia que hay entre su propia velocidad de rotacion, y la progresiva del bajel sobre la superficie sumergida de la paleta, y la resistencia del fluido: la velocidad de éste dependerá por tanto asi de la accion con que tiende la rueda á impelerlo, como de la resistencia del agua que se opone á su movimiento progresivo.

511. La averiguacion de la velocidad que una máquina dada puede proporcionar á un bajel, y las circunstancias en que debe producir el máximo efecto es indudablemente un problema muy complicado; y estamos persuadidos de que todavia no ha llegado á resolverse de un modo completamente satisfactorio, ni en teoría ni en la práctica, ni tenemos tampoco la esperanza de dar ninguna indicacion para el conocimiento de este importante objeto por nuestras propias investigaciones.

512. Las resistencias que oponen los fluidos á los cuerpos que se mueven en ellos estan sujetas á leyes bastante sencillas, y que afectan tanto al movimiento del buque como al de las ruedas: al tiempo de calcular la accion de éstas, la velocidad de aquel llega á ser uno de los elementos esenciales, y éste dificilmente puede determinarse con exactitud por investigaciones preliminares. La velocidad de las máquinas de vapor es proporcional á la cantidad de vapor de la tension conveniente que puede suministrar la caldera; y la de las ruedas tiene relacion con ésta dentro de determinados límites, escepto en el caso de adaptarse un sistema de ruedas dentadas y piñones, que nunca se ejecuta en los barcos de vapor americanos.

513. Todavia no aparece estar resuelto el punto mas sencillo de esta investigacion que es el determinar la ve-



locidad de la rueda dentro del agua, y el máximo efecto que debe producir.

514. Las investigaciones siguientes de Bossut manifiestan las leyes que siguen los fluidos chocando contra los sólidos.

1.ª Con superficies iguales é igualmente inclinadas al fluido, las resistencias serán próximamente proporcionales á los cuadrados de las velocidades.

2.ª Con iguales velocidades é inclinaciones de las superficies al fluido, las resistencias serán proporcionales á las areas de las superficies.

3.ª Con iguales velocidades y superficies, las resistencias son próximamente proporcionales á los cuadrados de los senos de los ángulos de inclinacion, hasta que estos ángulos no bajen de 50°; en los de menor abertura la disminucion es mas rápida.

4.ª La medida de la accion de un fluido sobre una superficie plana, es igual al peso de una columna de agua, cuya altura es igual á la de que debe caer un cuerpo grave para adquirir velocidad.

515. La accion de las ruedas de paletas está sujeta á principios que no pueden diferir mucho de estos, que se aplican muy bien en el caso de simple choque, porque las circunstancias que influyen en el movimiento de los cuerpos que se mueven en masas de fluidos, y que hemos establecido antes, tienen poco efecto sobre las paletas.

516. El teorema de Parent manifiesta que en los cuerpos cuyas resistencias varian con el cuadrado de la velocidad, se consigue el efecto máximo cuando la velocidad de la accion es igual á la tercera parte de la mayor que puede conseguirse.

517. Para aplicar este principio al caso presente es facil conocer que debe seguirse un método análogo al que se emplea para investigar el esfuerzo máximo de la po-



tencia del hombre y de los animales; en el de que se trata nunca se atiende á la velocidad que puede conseguirse y conservarse por un esfuerzo violento, y se toma por base del cálculo la que se puede conservar en el espacio de tiempo que es posible aplicarla con utilidad al dia, ó lo que es lo mismo el límite de la aplicacion ordinaria de que se hace uso, está circunscrito á aquel en que la accion regular obra eficazmente; por tanto al calcular la que ejerce el agua sobre los cuerpos debemos establecer que la velocidad en que empieza á aumentar la resistencia en una razon algo mayor que el cuadrado de aquella, es la que debe tomarse por límite.

518. Si se llega á determinar esta velocidad, su tercera parte será la que debe producir el máximo efecto, y la mayor que puede llegar á adquirir el bajel será igual á la primera, esto es, tres veces mayor que aquella con que se mueve la rueda de paletas dentro del agua en la máxima accion. Pero como la velocidad efectiva de las ruedas es igual á la diferencia que hay entre la de su propia rotacion y la del bajel en el fluido, la razon que hay entre el movimiento mas rápido que puede darse á éste, y el con que deberán girar sus paletas para producir el máximo efecto, es la de 3 : 4.

519. La determinacion de la mayor velocidad que puede darse á los bajeles, y la consiguiente de las paletas puede calcularse con el auxilio de la teoria, ó por esperimentos prácticos, y para el primer punto recurriremos á los principios del Excmo. Sr. D. Jorge Juan.

520. Está completamente demostrado por este célebre español que las resistencias que se oponen al movimiento de los sólidos que se mueven dentro de los fluidos, pueden dividirse en tres partes: 1.ª la resistencia producida por la alteracion del equilibrio y de la friccion del fluido; esta es una fuerza constante: 2.ª la resistencia propia del



fluido, que varia con el cuadrado de las velocidades; ésta tiene un coeficiente tan pequeño que llega á ser insensible cuando aquellas son de poca importancia; pero como aumenta como sus cuadrados, prontamente se convierte en la mas importante; y la primera tiene tan pequeña relacion con ésta, que solo en las velocidades medias es cuando llega á ser necesario tomarla en consideracion: 3.ª la ola que se eleva delante del cuerpo que está en movimiento, y la falta de apoyo producida por el espacio que el cuerpo deja sin llenar detras de ella, cuando la velocidad llega á ser grande. La simple resistencia producida por estas causas aumenta con la cuarta potencia de las velocidades, pero ademas el cuerpo debe elevarse sobre un plano inclinado, lo que producirá el límite de que no es posible hacer pasar á la que puede adquirir el bajel.

521. En las velocidades pequeñas y medias esta clase de resistencias es totalmente insensible, pero como aumenta con tanta rapidez llega pronto, segun se ha dicho, á ser la mas importante de todas: cuando esto se verifica es cuando deberemos fijar los límites de la velocidad que puede darse ventajosamente al bajel, ó la con que las paletas pueden ser impelidas.

522. Para determinarlo prácticamente debemos recurrir á lo que se observa en el movimiento de los buques.

523. El máximo andar de los bajeles mas veleros es generalmente de 12 millas por hora, aunque se dice que ha habido algunos que han llegado á andar 15; y barcos de vapor recientemente construidos han escedido en algo la primera cantidad; por tanto estableceremos por límite fijo de la mayor velocidad las 12 millas geográficas, ó 13'2 inglesas, que corresponde á 19'5 ps. por segundo, cuya tercera parte ó 6'5 ps. es, segun lo establecido, la máxima velocidad relativa de las ruedas de paletas de los barcos de vapor.

524. Para determinar la potencia necesaria para dar á

la rueda esta velocidad, es necesario tener presente que la cantidad de fuerza depende no solamente de la resistencia vencida, sino de la velocidad con que se vence; por consiguiente calculando la resistencia segun se ha dicho antes, como igual al peso de una columna de agua cuya base es el area de la paleta y la altura es aquella de que debe caer un cuerpo grave para adquirir velocidad, se multiplicará por la velocidad en un minuto, y dividirá el producto por el peso levantado por la unidad de potencia, en igual espacio de tiempo.

525. La altura conveniente para una velocidad dada, se halla partiendo el cuadrado de ésta en un segundo por el número constante 64.

526. La unidad de potencia es 32.000 libras levantadas un pie en el espacio de un minuto, pero ésta puede quedar reducida en la misma máquina, segun se ha dicho antes (art. 306), á solas 24.000 libras: de estos datos se deduce la siguiente regla:

Multiplíquese el cubo de la velocidad relativa por el número de segundos que tiene un minuto; este primer producto por el peso de un pie cúbico de agua en libras ($62\frac{1}{2}$), *y este segundo producto por el area de la paleta en pies; divídase éste por el número constante* 24.000 *multiplicado por* 64 (1.536,000), *y el cuociente será la potencia en caballos.*

527. Las otras reglas que se deducen de la teoría son las siguientes:

528. En un mismo buque, y con relacion constante entre el area de las paletas de las ruedas y la seccion transversal de aquel, las velocidades serán como las raices cúbicas de la potencia de las máquinas.

529. La relacion entre las velocidades de las ruedas y del bajel es constante, mientras no varía la razon que hay entre sus superficies.

530. Si se aplica la regla antecedente al caso de una



rueda de paletas que trabaje con la velocidad máxima de 6'5 pies por segundo, hallaremos que cada caballo de la potencia de la máquina sería capaz de impeler una paleta de medio pie cuadrado; pero como ésta no obra en todo el tiempo de su inmersion en el agua con igual intension, aunque no se pierde fuerza por esta causa, la oblicuidad de su accion hace aplicar una parte de la potencia á resistencias que no contribuyen al movimiento del bajel. De este modo sucede que al entrar en el agua se aplica una parte de la potencia á elevar la rueda sobre su eje, y al salir esta misma empuja la rueda hácia abajo, y como ademas levanta cada paleta una cantidad de agua, una parte del peso de ésta obra en oposicion directa de la fuerza de movimiento, pudiéndose determinar la pérdida producida por estas causas solo por esperimentos prácticos.

531. Para hacer mas claro este punto haremos una comparacion entre las propiedades de los barcos de vapor *América del Norte* y *Presidente*: el primero navega en el rio Hudson, y es muy notable por tener un andar que no ha sido todavia igualado por ningun otro barco de vapor; en el segundo, que lo verifica entre Nueva York y Providencia, ha sido preciso combinar en su construccion la conservacion de la estabilidad sin perjuicio del andar; y aunque no es de tanta diligencia como el primero, reune indudablemente las dos cualidades de velocidad y aguante, en grado superior á todos cuantos buques de esta clase conocemos.

532. Las dimensiones necesarias para el objeto de que se trata en el *Presidente*, son las que siguen:

Manga.....................	32 ps.	6 pgs.
Calado....................	9	
Diámetro de las ruedas.....	22	
Largo del cubo............	10	
Altura del mismo..........	3	6

Tiene dos máquinas de las dimensiones siguientes:

Diámetro del Cilindro........ 4

Estension del viage.......... 7.

Número de golpes dobles ó de revoluciones completas de cada rueda por minuto.

Cuando trabajan las dos máquinas... 21

Trabajando una sola.............. $17\frac{1}{2}$

533. El promedio de los viages que ha hecho á Providencia trabajando las dos máquinas ha sido de $15\frac{1}{2}$ horas; con una sola $19\frac{1}{2}$.

534. La distancia que hay entre Nueva York y Providencia se aprecia generalmente en 210 millas; medida con toda escrupulosidad sobre la carta mas acreditada y moderna, resultó ser de 160 millas marinas, ó 184'3 inglesas: con tales datos resulta la velocidad horaria del barco de cerca de 12 millas por hora, ó 17'6 pies por segundo, y la media relativa de la rueda de 6'5 pies por segundo cuando trabajan las dos máquinas. Cuando solo lo hace una el andar de aquel es de 9'45 millas por hora, ó 13'86 pies por segundo, y la velocidad relativa de la rueda 6'3 pies en igual espacio.

535. De lo dicho se infiere que las ruedas se mueven con una velocidad relativa cuasi idéntica á la que la teoria manifiesta ser la que corresponde al máximo efecto, pero el verdadero es inferior al que se deduciria de la regla que hemos dado (art. 526.)

536. Calculando la potencia nominal de las máquinas del *Presidente* por comparacion con otras de condensacion, resultaria que cada una de aquellas seria de 70 caballos, que aumentaria hasta cerca del doble en razon á la rapidez de su accion, y siguiendo la regla del art. 373, resultaria la potencia de cada una de 160 caballos. Como la superficie de cada paleta no escede de 35 pies cuadrados, cada caballo no puede impeler mas de 0'22 pies de



paleta, ó menos de la cuarta parte de un pie cuadrado; y resultaria de la comparacion de la velocidad relativa en estos dos casos lo mismo que si en el bajel de que se trata hubiese llegado á conseguirse la razon conveniente entre la fuerza de movimiento y la paleta.

537. El *América del Norte* tiene las dimensiones siguientes:

Manga......................	30 ps.	
Calado.....................	5	
Diámetro de la rueda........	21	
Largo del cubo............	13	
Altura del mismo..........	2	6 pgs.

Tiene dos máquinas de las dimensiones que siguen:

Diámetro del Cilindro.......	3	$8\frac{1}{2}$
Estension del viage.........	8	
Golpes dobles en un minuto..	24	

538. El promedio de su andar proporcionado por los dueños, es de 19'8 pies por segundo, que escede á los límites determinados teóricamente en 0'3 pies: la velocidad relativa de la rueda es de 6'6 por segundo, y escede á aquel en 0'1 pies; y la relacion que hay entre las velocidades del bajel y de la rueda es 3 : 4, idéntica á la que hemos indicado ser la mas conveniente.

539. La potencia de cada una de las máquinas, calculada segun la regla del art. 526, es de 186 caballos, y siendo el area de cada paleta de $32\frac{1}{2}$ pies cuadrados, resulta que cada caballo no debe dar impulso mas que á 0'16 de aquella unidad.

540. La velocidad de las ruedas es mayor que la de las del *Presidente* en la razon de 63 : 66, ó de 21 : 22; cuya comparacion es mucho mas favorable para el *América del Norte* de lo que aparece á primera vista; y para conocer que las ruedas de éste trabajan con la mayor ventaja posible, basta considerar que la potencia de cada ca-

ballo no tendria que dar impulso, en el caso de llegar á adquirir el *Presidente* la aumentada velocidad relativa, mas que á $\frac{1}{5}$ de pie cuadrado de superficie de paleta.

541. La potencia de las máquinas de ambos barcos apreciada segun las reglas que hemos dado (art. 526), escede á la que generalmente se les asigna atendiendo solo á sus dimensiones; las del *Presidente* son del tamaño de las de condensacion, cuya fuerza se estima en 110 caballos, y las del *América del Norte* de 98. Esta diferencia procede de la mayor viveza de su movimiento, porque siendo general no dar al émbolo mas velocidad que la de 200 pies por minuto, tiene el del segundo 384, y el del primero 336 en igual espacio.

542. La aproximacion de la coincidencia de la práctica de los dos barcos de que se trata con nuestra teoría, es una prueba suficiente de su exactitud, escepto en un solo punto, que es la porcion de superficie de la paleta que puede ser impelida por la fuerza correspondiente á cada caballo de la máquina: la regla dada en el art. 526 hace esta fuerza equivalente á la necesaria para mover medio pie cuadrado de superficie con la velocidad de 6'5 pies por segundo, mientras que del resultado de la práctica del *Presidente* tenemos que con la misma velocidad no es mas de $\frac{1}{5}$ de pie cuadrado, y $\frac{1}{6}$ en el *América del Norte*. Las causas perturbadoras que producen esta inexactitud de la teoría son faciles de conocer, pero no lo es el sujetarlas á cálculo.

543. Ya se ha visto (art. 520) que la resistencia que esperimentan los cuerpos sólidos que se mueven en los fluidos es proporcionada al cuadrado de la velocidad, y al area de su seccion. La fuerza motriz necesaria para dar á un buque una velocidad dada debe ser, segun se ha establecido antes, igual á esta resistencia multiplicada por la velocidad, ó proporcional al cubo de ésta; y en bajeles se-



mejantes la resistencia es proporcional al cuadrado de una de sus dimensiones homólogas.

544. Por tanto, para conseguir que el bajel dado tenga doble velocidad con ruedas dadas, es necesario emplear una potencia ocho veces mayor, y asi sucesivamente.

545. Pero como el espacio recorrido en un tiempo dado es proporcional á la velocidad, el verdadero gasto de potencia que se emplea en andar una distancia dada es proporcional á los cuadrados de las velocidades.

546. Estos principios son solamente exactos cuando el peso de la máquina se considera constante; pero como éste aumenta en una razon mayor que la potencia, es evidente que el conseguir las mayores velocidades por este medio no proporcionaria la menor ventaja.

547. Una muy importante se conseguirá aumentando el tamaño de los bajeles, porque variando las resistencias como el cuadrado de sus dimensiones semejantes, el tonelage ó capacidad de carga aumenta como los cubos de las mismas.

548. Muchos han creido que el movimiento de los barcos de vapor era distinto en agua corriente que en la parada, lo que no puede suceder, escepto en el caso de ser aquella tan rápida que su declive llegue á ser un elemento importante, formando un plano inclinado sobre el cual se eleva el peso, lo que se comprenderá mejor por las consideraciones siguientes. Cuando un bajel se halla en una corriente y la fuerza impelente cesa, adquiere aquel prontamente la velocidad del fluido, respecto al cual queda parado: si la fuerza motriz es la del vapor aplicado á ruedas, y éstas se ponen en movimiento, su accion sobre el fluido es precisamente la misma que si no existiera aquella, y por consiguiente la velocidad absoluta del buque será la misma que seria estando el fluido parado. Pero la relativa respecto á objetos fijos, será igual á la suma ó di-

ferencia de la velocidad que tendria el buque no habiendo corriente y la de ésta. El caso es enteramente distinto cuando la fuerza se aplica por medio de espias ó calabrotes hechos firmes á puntos fijos.

549. La consideracion inmediata á que hay que atender con respecto á las ruedas es su diámetro; éste se determina por medio de la velocidad que se trata de dar á la circunferencia, comparada con la del movimiento del émbolo, puesto que aquellas estan unidas á una cigüeña que ejecuta media revolucion en cada viage de éste; por tanto para conseguir las velocidades máximas, arreglando las ruedas de este modo, no hay otro medio que el de aumentar proporcionalmente sus diámetros, lo que acarrea dos inconvenientes de gran consecuencia, á saber, el grande aumento de peso, y la elevacion del centro de gravedad. La accion de las paletas pende, segun se ha demostrado (art. 530), de su velocidad relativa; pero cuando las de una rueda obran sucesivamente el agua seguirá en la estela de la primera que obra, y podrá la segunda, si entra en aquella con corto intervalo, hacer su esfuerzo sobre agua que está ya en movimiento; por cuya razon las paletas de que se guarnecen las ruedas no deben esceder del número preciso y que es suficiente para conservar una accion continua. La disposicion mas conveniente para conseguirlo es colocarlas de modo que cuando una de ellas esté verticalmente en el agua, la precedente esté saliendo de ésta justamente, y la que sigue entrando en la misma forma.

550. Cuando las paletas de las ruedas entran en el agua con direccion oblícua sufren un choque repentino; si el intervalo que las separa es tan grande como hemos indicado, la reaccion de esta súbita resistencia es perjudicial á la máquina, y paraliza y destruye la acumulacion de la potencia que la rueda podria llegar á alcanzar y re-



partir, bajo los mismos principios que los volantes de las máquinas. En los barcos de vapor primitivos se usaron éstos que giraban con mas velocidad que las ruedas, y que eran muy ventajosos; y aun en los del dia que navegan con tanta rapidez, y en los que el peso y velocidad de las ruedas de paletas habilitan á éstas para ejecutar el oficio de los volantes, los choques de que hablamos no dejan de tener efectos perjudiciales, habiéndose propuesto para evitarlos dos métodos diferentes.

551. En algunos barcos de vapor ingleses estan colocadas las paletas oblicuamente sobre la circunferencia de la rueda, aunque perpendiculares á un plano tangente á ésta; por tanto su inclinacion con respecto al vertical es la misma que la que tienen cuando se colocan del modo ordinario; pero entran en el agua formando un ángulo en lugar de chocar en ella de plano, y por consiguiente se evita la sacudida de que hemos hablado.

552. Este es sin embargo un defecto que escede á las ventajas que pudiera producir semejante colocacion de las paletas, porque como las ruedas obran en direccion inclinada al plano de la quilla del bajel, es evidente que una parte de su potencia tiende á empujar á éste en direccion lateral; y aunque las dos ruedas neutralizan ó equilibran mútuamente esta parte de la accion de cada una de ellas, la totalidad de la fuerza que obra en esta direccion es perdida.

553. Mr. R. S. Stevens ha ideado una colocacion mas ventajosa; la rueda es triple, y puede describirse diciendo que es una de las ordinarias de paletas aserrada en tres planos perpendiculares al eje; cada una de las dos adicionales que se forman por este medio se mueve hácia atras, hasta que sus paletas dividen el intervalo de la primitiva en tres partes iguales.

554. Por este medio el choque de cada paleta dismi-



nuye una tercera parte del que reciben las de las ruedas de forma ordinaria; están separadas por intervalos menores, y por tanto se acercan mas á una resistencia casi constante, porque siguiendo cada una de ellas la estela que forman las de su propio sistema, chocan sobre agua que ha sido ligeramente alterada.

555. Tambien se origina otra pérdida de la aplicacion de la fuerza segun se ha visto por el agua elevada por las paletas cuando se mueven fuera del fluido; pero esta disminucion ó pérdida no es igual á todo el peso elevado, porque aquella agua habrá adquirido ya una velocidad de rotacion que disminuirá la presion sobre la paleta; y como ésta está oblicuamente situada, entonces la verdadera presion puede ser dividida en dos fuerzas, una de las cuales retarda el movimiento de la rueda y se pierde, mientras que la otra obra horizontalmente impeliendo el bajel. Esta pérdida será por tanto menor en las ruedas grandes, si la inmersion del cubo es constante; y cuanto mayores sean éstas menor será el peso del agua elevada.

556. Las paletas no se sumergen enteramente en el agua, escepto cuando estan cerca de la posicion vertical, y por esta razon no ejercen una accion constante para impeler el bajel; pero como el gasto de potencia procedente de la máquina seguirá las leyes del area, no resultará pérdida de fuerza por esta causa. La inclinacion de la paleta está tambien variando continuamente, y mientras que el agua opone resistencia perpendicular á la superficie de aquella, dependiente de la parte sumergida y del cuadrado de la velocidad, tan solo la parte de esta resistencia que, cuando llega á ser descompuesta es paralela á la superficie del agua, es la que obra para dar impulso al bajel, y el resto se pierde sobre éste, que es alternativamente empujado hácia arriba y abajo. La gran diferencia que hay entre el area que asigna la teoría de las paletas,



y la que se usa en la práctica debe atribuirse á esta oblicuidad de su accion, y hemos visto (art. 540) que esta reunion de causas diversas ha reducido el area de la paleta impulsada por cada caballo de la potencia de la máquina á cerca de 0'2 de pie cuadrado, que es el caso mas ventajoso de cuantos se ha hecho mencion.

557. Los barcos de vapor se ponen en movimiento con una velocidad que aumenta gradualmente hasta que llega á ser uniforme; llegado este caso la resistencia que opone el agua al movimiento de las ruedas equilibra exactamente al progresivo del bajel. Por tanto si se conoce la relacion que existe entre las leyes á que estan sujetas las superficies planas y las de la figura del buque, podrá determinarse la proporcion que debe existir entre el area de la paleta y la de la cuaderna maestra de éste. Las esperiencias hechas por la Sociedad de Artes de Londres manifiestan que si se dá á un sólido de reducido tamaño la figura de un bajel, la resistencia no es mas que la séptima parte de la que opone una superficie plana: otros esperimentos hechos con mejores modelos dan por resultado de $\frac{1}{8}$ á $\frac{1}{10}$ de aquella.

558. Pero las observaciones ejecutadas en escala de dimensiones mayores, producen resultados mas favorables, y en el ejemplo á que nos hemos referido ántes del barco de vapor *Presidente*, la resistencia de su seccion transversal no es mas que $\frac{1}{20}$ de la que esperimentan las ruedas cuando trabajan ambas máquinas, y $\frac{1}{26}$ trabajando una sola: en el *América del Norte* parece no es mas de $\frac{1}{22}$, y no puede correrse riesgo alguno asegurando que en buques de buenos gálibos, la resistencia al movimiento progresivo baja hasta $\frac{1}{18}$ de la que obra sobre las paletas, y si se establece por consecuencia para la relacion entre las velocidades absolutas del bajel y de las ruedas cuando obran mas ventajosamente, la razon ya indicada de 3 : 4,

el tamaño mas aparente de las paletas será aquel que proporcione que el area de cada una de ellas sea igual á la cuarta parte de la de la cuaderna maestra, ó la suma de las que obran á un tiempo en ambas ruedas á la mitad de aquella cantidad. Cuando las máquinas estan dispuestas de forma que dan á las ruedas una velocidad giratoria de 26 pies por segundo, el bajel deberá adquirir el andar de 13.2 millas por hora, y éste, asi como otras relaciones y velocidades calculadas bajo los mismos principios, estan espresados en la siguiente

Tabla de las velocidades de los barcos de vapor y de sus paletas, cuando éstas obran el máximo efecto, y con diversas razones entre sus areas y las cuadernas maestras de aquellos.

Razon de las areas.	*Velocidad giratoria de la rueda en un segundo.*	*Velocidad horaria del barco en millas inglesas.*
$\frac{1}{2}$	26 pies	13'20
$\frac{2}{5}$	25'2	12'57
$\frac{3}{10}$	22'5	10'73
$\frac{1}{4}$	21	9'78
$\frac{2}{10}$	19'5	8'88
$\frac{3}{20}$	17'7	7'78
$\frac{1}{10}$	15'3	6'00
$\frac{1}{12}$	14'6	5'50

559. Estos resultados son sin embargo no mas que aproximados, y sufrirán alteraciones por las variaciones de la figura del bajel y otras circunstancias que no pueden sujetarse á la teoría.

560. Recapitulando las reglas prácticas que se han establecido, deducirémos las consecuencias siguientes:

1.ª La velocidad relativa de la circunferencia de la



rueda deberá ser en todos casos de $6\frac{1}{2}$ pies por segundo.

2.ª Cada caballo de la potencia de la máquina, calculada segun los principios establecidos en el art. 373, debe impeler una paleta cuya area sea de $\frac{1}{5}$ de pie cuadrado con esta velocidad.

3.ª La velocidad absoluta mayor de la paleta para dar al bajel el máximo andar que puede llegar á tener, es de 26 pies por segundo.

4.ª En buques construidos por buenos planos pueden conseguirse estas velocidades siempre que la relacion entre el area de la cuaderna maestra y la de las paletas de ambas ruedas sea como 2 : 1.

5.ª Con otras relaciones entre estas areas las velocidades son las que espresa la tabla precedente.

561. Las máquinas de vapor de la clase que se han descrito en el cap. V exigen varias modificaciones; para aplicarlas al objeto de dar movimiento á los bajeles colocándose en el centro de éstos, la mas conveniente es la que representa la Lám. 7, en la que está suprimida la palanca, y tiene dos barras de conexion adaptadas al émbolo por medio de una cruceta; pero cuando se usan dos máquinas situadas á ambas bandas debe conservarse aquella. El depósito de agua fria sobrecargaria al bajel con un peso enorme, y por consiguiente se suprime, y el condensador no está sumergido en ésta. El de agua caliente se dispone generalmente sobre la tapa de la bomba neumática, y el desaguadero es una válvula cónica que rodea el asta del émbolo de aquella. El agua para la condensacion se suministra por un tubo que atraviesa el fondo del barco, elevándose por dentro sobre el nivel del fluido esterior; la llave de inyeccion está debajo de este nivel, y el agua obligada á entrar en el condensador por consecuencia de la diferencia de estos. El agua caliente escedente sale por otro tubo semejante; ambos se llaman *tubos fijos*,

y estan representados con las letras *h h* y *l* en la Lám. 7, siendo *h h* el que se adapta al condensador y lo abastece por medio de la llave de inyeccion *i*; y *l* el tubo por el cual sale el agua caliente escedente del depósito colocado sobre la tapa de la bomba neumática *H*. *K* es una bomba aspirante de mano que sirve para llenar la caldera al principio, ejecutándose despues el reemplazo por medio de otra bomba igual *S*.

562. Otra modificacion muy importante resulta del tamaño de las válvulas y calibre de los tubos de vapor: ya se ha establecido que en algunos casos cuando éste obra espansivamente, el area de la abertura de aquellas debe aumentarse; pero en los barcos de vapor se consigue generalmente la mayor velocidad de las ruedas aumentando la del émbolo, lo que no puede lograrse sino dando mayor diámetro al conducto por donde pasa el vapor para que sea mayor la corriente de éste, por cuyo método se obtiene la gran ventaja de aumentar la velocidad y por consiguiente la potencia, sin que crezca el peso de la máquina.

563. La aplicacion del vapor á la navegacion parece que fue una de las primeras ideas que ocurrieron á los que inventaron y mejoraron las máquinas de esta especie: el marques de Worcester en su *Century of inventions*, ó Siglo de invenciones, habla de lo util y aparente que seria su máquina para remar. Savary propone aplicar el agua elevada por la suya á dar movimiento á una rueda hidráulica dentro de un bajel, que podria tenerlas de paletas que obrasen por su parte esterior; y Watt decia que si no fuera por la falta de tiempo que le ocasionaban sus negocios, hubiera intentado la construccion de un barco de vapor. Newcomen no dió indicios de semejante designio; y es un hecho positivo que antes de Watt las aplicaciones que se hacian del vapor á objetos útiles no eran las convenientes para dar impulso á los bajeles; aun con todas

las mejoras que introdujo, el combustible era de gran peso y su acarréo muy dificil; de forma que antes de haber disminuido el consumo de aquel tan considerablemente, hubiera sido sumamente dificil que un buque llevase el suficiente, á menos de no hacer muy cortas travesias.

564. Pero antes de las épocas de que hablamos se habia ya verificado la aplicacion del vapor á los buques: recientes investigaciones han hecho patente un hecho bien antiguo, que demuestra haberse ejecutado el ensayo de un barco impelido por el vapor, de modo tan satisfactorio que obtuvo la aprobacion de todos los testigos presenciales.

565. Blasco de Garay, oficial de la marina del Emperador Carlos V, hizo en Barcelona á presencia de S. M. I. en el año 1543, la esperiencia de un bajel que andaba por medio de un aparato, *cuya parte mas importante era una gran caldera llena de agua hirviendo*; y como no es posible dudar de la certeza de este hecho, resulta que no solamente fue Garay el inventor de los barcos de vapor, sino el primero que consiguió aplicar este poderoso agente á objetos de utilidad conocida. Este importante descubrimiento era sin embargo muy superior á los conocimientos de aquella era, por cuya razon no tuvo resultados efectivos; pero tampoco se puede dejar de conocer que de él se han aprovechado indudablemente otros que mas modernamente han llegado á sacar todo el partido de que es susceptible.

566. Los autores ingleses han conseguido sacar del olvido la patente concedida en 1736 á un individuo llamado Jonathan Hulls, el cual no llegó á fabricar ni aun el modelo de su invencion; y tampoco habia llegado á dar al mismo primer móvil el grado de perfeccion necesaria para que produjese buenos resultados por el método que proponia: muy distantes estamos por tanto de clasificarlo

entre los adelantos útiles que se han hecho en la materia, y mas bien nos inclinamos á colocarlo entre los que, por ser de suyo impracticables, merecen el olvido en que caen al instante.

567. Las ruedas de paletas es el único aparato que se ha encontrado ser, puesto en movimiento por la accion del vapor, el mas completo y aparente para impeler los bajeles: tambien se ha usado de él y con diversas fuerzas motrices para el mismo objeto, cuyo intento se ha repetido de tiempo en tiempo, usado por mas ó menos espacio, y abandonado despues.

568. Entre estas invenciones debe mencionarse la de un barco construido en el rio Támesis por el príncipe Ruperto, cuya esperiencia presenciaron Papin, Savary, y probablemente el marques de Worcester. Para probar la antigüedad de este método basta saber que Stuart cita un manuscrito de la biblioteca del rey de Francia, de cuyo contenido se deduce que en el discurso de una de las guerras púnicas, se verificó el transporte de un ejército romano á Sicilia en bajeles impelidos por ruedas movidas por bueyes. El uso de las ruedas hidráulicas aplicadas de modo inverso al en que se emplean para dar movimiento á las máquinas, es demasiado sencillo para merecer el nombre de invencion.

569. La máquina de Watt fue indudablemente la primera que en el último siglo llegó á proporcionar la potencia suficiente para adaptarse á dar movimiento á los bajeles con utilidad conocida, como se demuestra por una memoria de Bernoulli presentada á la Academia de ciencias de Francia, y premiada por ésta en 1753: el autor espresaba en ella su dictamen con demasiada estension, tratando mas de la potencia del vapor que del modo con que entonces se aplicaba generalmente.

570. Todavia hubo otros muchos que no haciéndose car-



go de los defectos del primer móvil, continuaron buscando los medios de hacerlo servir para dar movimiento á los bajeles: entre ellos merecen nombrarse á Genevois y al conde de Auxiron. El primero hizo en el año de 1759 un esperimento que se hace muy notable por la singularidad del aparato, dispuesto bajo igual mecanismo que los pies de los pájaros acuáticos, que se abria cuando se movia en una direccion dentro del agua, y se cerraba en la contraria. El segundo ejecutó otro en 1774; pero el barco en que se verificó se movia tan despacio y con tanta irregularidad, que los suscritores de la empresa abandonaron en el acto todas sus esperanzas de favorables resultados.

571. En 1755 Perrier el mayor, tan célebre despues por haber introducido en Francia la fábrica de las máquinas de vapor, hizo una prueba semejante, que tuvo igual adverso resultado; pero no se desanimó, y atribuyendo el mal éxito á las ruedas de paletas, se dedicó por espacio de muchos años á buscar un equivalente á los remos, y no consta que haya hecho ningun descubrimiento importante.

572. El marques de Jouffroy continuó las investigaciones del mismo asunto: sus primeros esperimentos se hicieron en 1778 en Beaume les Dames, y en 1781 construyó en el rio Saone un barco de vapor de 150 pies de eslora, y 15 de manga, cuya prueba sirvió de objeto á un informe dado á la Academia de Ciencias de París por Bordá y Perrier, que parece fue favorable. La máquina de accion doble de Watt no se dió al público hasta 1781, y no recibió las últimas mejoras que la habilitaron para conservar el movimiento de rotacion continuo y uniforme hasta 1784; y no habiendo habido antes de esta máquina ninguna otra que reuniese todas las calidades necesarias, deben considerarse todos los ensayos hechos antes de la



primera de estas dos épocas, como prematuros, ineficaces, é inútiles para el objeto deseado.

573. Tambien debe tenerse presente que solo la perfeccion que dió Watt á su máquina fue la que hizo conseguir el objeto en este pais de dar movimiento á los bajeles por medio del vapor. La misma naturaleza y la topografia de los Estados-Unidos exige diversos medios de transporte que los que se emplean en otros paises, y aunque sus costas estan cubiertas de bahias y de rios, por cuyo medio puede hacerse la navegacion costanera con seguridad, pudiéndose estender á poca costa de un estremo á otro, la variacion de los vientos hace que sea muy pesada en algunas estaciones la que se ejecuta por el método ordinario. Ahora mismo han llegado á ser las orillas del Misisipi y de sus innumerables brazos el asiento de establecimientos florecientes, separados de las costas del Atlántico por cordilleras de áridas montañas, que son casi inaccesibles desde el Seno Mejicano para los buques que navegan con velas ó remos por la velocidad de su corriente. La poblacion, curiosa por caracter y que no ha llegado todavia al último grado de la civilizacion, está demasiado esparcida sobre un vasto terreno, que exige imperiosamente rápidos medios de comunicacion, y grandes importaciones estrangeras. Estas faltas no pudieran haber sido cubiertas, ni satisfecha la curiosidad por ninguno de los medios descubiertos hasta ahora que no fuesen los barcos de vapor y los caminos de carriles de hierro; y el gobierno, para retardar cuanto sea posible la separacion que amenaza de las provincias del Sur de las del Norte, protege en cuanto puede la facilidad y bajo precio de las comunicaciones, con el objeto de multiplicar las relaciones personales entre los habitantes de ambas; y no cabe duda de que los primeros que se dedicaron con el mayor empeño á conseguir la perfeccion de las máquinas de vapor,



lo hicieron mas bien estimulados por la perspectiva floreciente del pais, que por el estado en que se hallaba cuando las ejecutaron.

574. Rumsey y Fiteh fueron contemporáneos en sus investigaciones; ambos intentaron construir barcos de vapor en el año de 1783, cuyos modelos se presentaron el siguiente al general Washington. El primero fue quien presentó antes el suyo en la esposicion, pero el segundo pudo ejecutar con anterioridad su proyecto en tamaño conveniente, porque consiguió en 1785 dar movimiento á un barco sobre el rio Delaware, mientras que Rumsey no pudo verificarlo sobre el Potomac antes de 1786.

575. El aparato de Fiteh se componia de un sistema de paletas; Rumsey usó al principio de una bomba, que dando impulso al agua desde la mura, la obligaba á impeler la popa del barco: luego empleó unas palancas que recibian el movimiento por cigüeñas colocadas sobre el eje del volante, que debian apoyarse contra el fondo del rio. Por aquel tiempo envió Fiteh diseños de su aparato á Watt y á Bolton, con la idea de conseguir patente en Inglaterra, y Rumsey pasó á aquel pais en 1789 con el mismo objeto. El primero no pudo obtener proteccion, pero el segundo ayudado por algunos individuos emprendedores, tuvo los medios de construir un barco en el rio Támesis, que no llegó á ponerse en movimiento hasta despues de su muerte que acaeció en 1793.

576. El barco de Fiteh navegaba con la velocidad horaria de cuatro millas, y no debemos dudar ahora que si se hubiesen usado paletas de mayor tamaño, no hubieran tenido mal éxito varios ensayos hechos bajo semejante principio. El método de Rumsey era mas conocidamente defectuoso, y no deberá parecer estraño que no tuviesen favorables resultados.

577. A estos dos maquinistas siguió Miller, de Dals-

winton en Escocia: este ingenioso caballero dedicó su atencion desde 1787 á buscar el medio de hallar instrumento que sustituyese á los remos, y proyectó un bajel triple movido por ruedas; pero habiendo probado la esperiencia que no podian girar éstas con la velocidad necesaria, impelidas por hombres que trabajaban sobre una cigüeña, le sugirió un amigo la idea de aplicar la potencia del vapor, y un maquinista llamado Symington fue empleado por Miller para la ejecucion del proyecto. El barco en que se ensayó era doble, y servia para recreo en el lago de las tierras de su propiedad en Dalswington; y la prueba fue tan satisfactoria que se decidió á construir uno de 60 pies de eslora, tambien doble, y que navegaba en el canal de los rios Forth y Clyde, á razon de siete millas por hora; pero el barco, las ruedas y la máquina estaban tan mal proporcionados respectivamente, que las paletas se rompian continuamente; y el primero padecia tanto con el esfuerzo de la máquina que estaba espuesto á irse á pique; creyendo Miller que sería peligroso aventurarse á navegar en otras aguas que las del canal. Por consecuencia se desarmó el aparato, y terminaron los esperimentos de éste, que llegó á convencerse de que habia errado, echando la culpa al maquinista del mal éxito de su invencion; pero debemos observar que el barco doble de que se usó en esta ocasion era de figura poco aparente para el objeto. En los barcos de pasage de igual forma introducidos por Fulton en este pais, la resistencia producida por los remolinos de agua entre los dos bajeles era tan considerable, que ha sido necesario abandonar esta disposicion gradualmente, sustituyendo barcos sencillos.

578. Juan Stevens, de Hoboken, empezó sus esperiencias sobre la navegacion de vapor en 1791; poseedor de caudal considerable, y muy versado en las ciencias, tenia cuando las emprendió todos los medios y conocimien-



tos convenientes para conseguir el mejor resultado, y se valió al principio de artistas, que aunque de menos talento que él, tenian la práctica de la maquinaria. El primero de estos resultó ser un ignorante incorregible, y el segundo cayó enfermo, y falleció antes de haberse ejecutado la prueba. Entonces se decidió Stevens á obrar por sí mismo, haciendo construir un obrador en su hacienda, en que hizo trabajar á los artífices bajo su inspeccion inmediata, colocando en ella á su hijo Roberto L. Stevens como maquinista práctico: á éste se deben muchos adelantos en la navegacion de vapor, y los barcos mas perfectos que se han construido hasta ahora.

579. En el discurso de estas esperiencias inventó Stevens la caldera tubular, y sus primeros ensayos se ejecutaron con una máquina de rotacion que fue prontamente reemplazada por una de las de Watt, llegando á conseguir, modificando repetidas veces el aparato impelente, y dando diversa figura á los bajeles, que el andar de estos llegase á ser de 5 ó 6 millas por hora; y aunque estos fueron los mas perfectos que se habian visto hasta entonces, no estaba todavia satisfecha su grande esperanza ni su ardiente espectativa. Continuaron los esperimentos de Stevens hasta 1807, suspendiéndose algunas veces el trabajo con notable menoscabo de su caudal; y no seguiremos la historia de los primeros ni de las ocurrencias relativas, con el objeto de seguir la narracion cronológica de lo que sucedia en Europa en aquella época.

580. En 1793 resucitó el Conde de Stanhope el proyecto de Genevois del aparato de figura de pie de pato, que se colocó en 1795 en un barco provisto de una máquina poderosa que no pudo andar á pesar de esto, mas de tres millas por hora. Mientras estaba ocupado con estos trabajos recibió una carta de Fulton proponiendo el

uso de las ruedas de paletas, y es probable que el atraso de mas de doce años que sufrió el servicio de los barcos de vapor, debe atribuirse al desprecio que se hizo de esta idea; porque es evidente que el ingenio y habilidad de Fulton, sostenidos por la influencia y capital del Lord Stanhope, hubieran conseguido entonces lo que se realizó despues.

581. En 1797 el Canciller Livingston, del Estado de Nueva York, construyó un barco de vapor para navegar en el rio Hudson, en compañía con un inglés llamado Nisbett, siendo el maquinista el célebre Brunel, tan conocido por su fábrica de vapor de motoneria del arsenal de Portsmouth, el paso por debajo del Támesis, y otras obras no menos importantes. Plenamente convencido de la seguridad del éxito pidió Livingston privilegio esclusivo á la legislatura del Estado de Nueva York, que le fue concedido con la condicion de presentar en el término de un año un barco de vapor que anduviese lo menos tres millas por hora; y no habiéndose verificado se suspendió por entonces el proyecto.

582. En 1800 unieron Livingston y Stevens sus esfuerzos, ayudados por Mr. Nicolas Roosevelt; el aparato que emplearon fue un sistema de paletas semejante á una bomba horizontal de cadena, á que se daba movimiento por medio de una máquina construida por Watt; y aunque no consta que semejante mecanismo tan inferior á la rueda de paletas, respondiese al efecto, es ciertamente indudable que el resultado fue adverso, pues la poca ligazon y debilidad consiguiente del barco le hacian cambiar de figura, y dislocaban todas las partes de la máquina. Uno de los operarios que trabajaban en ella propuso la rueda de paletas, pero sus imaginaciones, el mismo Stevens lo confiesa ingenuamente, no estaban dispuestas todavia para esperar favorables resultados de tan sencillo método.



583. Sus procedimientos unidos se interrumpieron entonces por haber sido nombrado Livingston Ministro de la república en Francia; pero este suceso léjos de desanimar á Stevens y Roosevelt, les dió mas aliento: el primero continuó sus ensayos en Hoboken, y el segundo llevó á Europa las grandes esperanzas que habia concebido.

584. Se ha dicho antes (art. 577) que Miller de Dalswinton empleo á Symington como maquinista, y debemos recordar ahora un ensayo hecho por éste bajo la proteccion del Lord Dundas de Kerse: las ideas del primero parece que estaban circunscritas á la navegacion de los canales y rios, pero no se estendian á la de la mar; y en esta ocasion pensó el segundo del mismo modo. La prueba se hizo pues en el canal de los rios Forth y Clyde, pero no habiendo llegado á tener los barcos mayor velocidad de tres y media millas por hora, no quedaron satisfechas las esperanzas del protector, y se abandonó la idea.

585. En este tiempo dice Symington que fue visitado por Fulton, que le aseguró el grande aprecio que tendria una empresa semejante en estos Estados, y le dió amplias informaciones: aquel reclamó despues como propia la gloria que adquirió el segundo en sus ulteriores sucesos, pero se probó la falsedad de su suposicion delante de un tribunal, evidenciándose que Fulton habia presentado en 1795 al Lord Stanhope un proyecto análogo al que realizó despues, seis años antes del ensayo hecho por Symington. Era muy natural que el primero, cuyo pensamiento estaba siempre ocupado de la navegacion de vapor, y que concebia el vasto campo que proporcionaba el Misisipi y sus brazos para su engrandecimiento, viese por sí mismo todos los parages donde pudiera adquirir conocimientos sobre los barcos de vapor; pero si se comparan los planos del que construyó el segundo, que toda-

via existen, con los fabricados por Fulton, claramente se deduce que éste no pudo aprender nada de Symington.

586. En el mismo año de 1801 hizo Evans en Filadelfia una esperiencia mucho mas importante: habiéndosele encargado por el Ayuntamiento la construccion de una máquina para limpiar puertos, lo ejecutó, asi como el ponton en que debia colocarse, en su obrador distante milla y media de la orilla del rio Delaware. El peso total era de 42.000 libras, y por medio de ruedas movidas por la máquina, caminó el barco esta distancia, y se echó al agua; y habiéndole colocado entonces otra en la popa, volvió á andar impelido por la misma, y fue conducido al parage á que estaba destinado. Sin embargo de este suceso parece que Evans abandonó el proyecto de escitar á sus conciudadanos á entrar en sus empresas de locomocion, contentándose con su ejercicio de fabricante de molinos, y la evidencia que habia dado por este medio de la exactitud de sus antiguos planes no tuvo resultado alguno.

587. Aqui termina la relacion de todas las empresas infructuosas que se hicieron para la práctica de la navegacion de vapor, bien sea por sus absolutas imperfecciones, ó por no haberse realizado completamente las esperanzas de las partes interesadas; á aquella debe pues seguir la esposicion de las que obtuvieron completo resultado. Livingston, que segun se ha dicho, llevó á Francia el convencimiento de que era facil conseguir el objeto deseado, encontró á Fulton en Paris; la semejanza de sus ideas los unió prontamente, encargándose éste de adquirir todas las noticias convenientes, en lo que no podia ayudarle el otro por impedírselo las ocupaciones de su destino. Fulton dió principio por el examen completo de la potencia de los diversos aparatos impelentes propuestos, cuyos ensayos se hicieron en Plombieres, deduciendo de todos que ninguno era mas aparente de cuantos se habian



inventado que las ruedas de paletas, y que estas reunian todas las circunstancias requeridas; é ideó el modo de adaptarlas á la máquina de Watt, que aunque ingenioso era complicado, y que simplificó despues estremadamente.

588. Hasta entonces no se habia pensado en calcular con anticipacion la relacion existente entre la potencia de la máquina y la velocidad de las ruedas, y la resistencia que opone el agua al movimiento del bajel; y bien persuadido Fulton que todas las esperanzas de un resultado favorable se debian fundar en la debida combinacion de estos elementos, recurrió á las esperiencias hechas por la Sociedad de artes, que se han indicado (art. 557), y limitándose á la velocidad de cuatro millas por hora, calculó el barco y la máquina bajo este concepto. El que sirvió para la prueba se construyó en Paris; y habiéndose echado al agua en el rio Sena, el éxito respondió exactamente á lo que habia asegurado antes; siendo muy digno de notarse que asi entonces como despues, fundándose en una sana teoría, tuvieron siempre los barcos construidos por este maquinista la velocidad que deseaba darles cuando calculaba su plano: no sucedia lo mismo cuando fabricaba barcos dobles, pues no tenia en consideracion la resistencia importante de que se ha hecho mencion tratando del de Miller (art. 577).

589. Estos primeros ensayos ocurrieron en 1803, y cuando estaba Fulton preparándose para ejecutarlos, un individuo llamado Desblancs, que habia obtenido patente para un aparato de navegacion de vapor, trató de interrumpir sus trabajos, alegando la infraccion de su derecho: aquel comunicó á éste sus primitivas esperiencias, que le habian dado á conocer la superioridad de la rueda de paletas sobre la cadena de éstas propuesta por Desblancs, y entonces la oposicion cesó enteramente. Como la esperiencia hecha en el Sena habia sido tan favorable,



se resolvió construir un buque mayor en los Estados-Unidos; pero no estando todavia los obradores de este pais en estado de fabricar la máquina, fue necesario encargarla á Inglaterra á Watt y Bolton, pasando Fulton allá para cuidar de la perfeccion de la obra. En aquel tiempo tuvo Livingston la fortuna de conseguir la revalidacion del privilegio esclusivo que le habia concedido el Estado de Nueva York.

590. La máquina llegó á esta ciudad hácia fines de 1806, y habiéndose colocado en el barco que estaba ya construido, se puso este en movimiento en el verano de 1807, con el feliz resultado que es notorio.

591. Entretanto el primer socio de Livingston, Stevens mayor, perseveraba en la empresa de construir barcos de vapor; con el auxilio de su hijo concibió tales esperanzas que rehusó renovar la compañía con el primero, y se decidió á trabajar solo confiando en sus propios esfuerzos. El barco de Fulton estuvo listo antes, y por consiguiente aseguró el goce de la esclusiva; pero habiendo terminado Stevens el suyo pocos dias despues, que navegaba con la velocidad requerida, y como sus operaciones se ejecutaron separadamente, no cabe duda de que ambos tienen igual derecho para atribuirse el honor de la invencion. Viéndose este escluido de las aguas del Estado de Nueva York por el monopolio de Livingston y Fulton, concibió el atrevido proyecto de llevar su barco al rio Delaware por la costa; de forma que éste, que estuvo tan próximo á alcanzar la honra del primer resultado completo, tuvo la de ser el primero que navegó sobre el Oceano con el impulso del vapor.

592. Desde entonces hasta la muerte de Fulton se fueron mejorando gradualmente los barcos de vapor, consiguiendo el andar de ocho á nueve millas por hora, que era, en el sentir de Fulton, el mayor que podrian al-



canzar, cuya opinion pudo nacer de la observacion de la resistencia aumentada que produce la ola que choca en la proa. Sus tres primeros barcos llamados el *Clermont*, *Carro de Neptuno* y *Parangon*, eran de varenga llana, y las líneas de agua en las muras eran agudas; los últimos tenian quillas adicionales con el solo objeto de aumentar la solidez, y en los que construyeron sus sucesores despues de su fallecimiento, se trató de asemejar su figura á la de los buques ordinarios, aunque la accion de las olas presentaba todavia un obstáculo importante. Mientras tanto el jóven Stevens estaba ocupado activamente en perfeccionar la navegacion de vapor, y cada barco que construia sacaba ventaja en sus propiedades á los anteriores; consideró el asunto bajo distinto punto de vista que Fulton, creyendo que la grande influencia de las olas nacia de la figura defectuosa de los barcos; hizo esperiencias con dimensiones grandes y pequeñas, y de ellas dedujo la que era mas aparente para reducir este obstáculo á sus mínimos términos, y no bien hubo terminado el privilegio esclusivo de Livingston, construyó uno para navegar en el rio Hudson, que ejecutó sus viages con la velocidad media de 13½ millas inglesas por hora. En todas cuantas tentativas se han hecho despues por el estímulo de las mas acalorada competencia, no ha sido posible pasar de este límite (1).

593. Los barcos de vapor no empezaron á generalizarse en Inglaterra hasta el año de 1812, cinco despues del primer viage satisfactorio de Fulton. Bell construyó el primero sobre el rio Clyde, en Glasgow: en Marzo de 1816 se verificó el primer viage de vapor en el canal de la Man-

(1) El nuevo barco de vapor Boston hizo el 22 de Agosto de 1831 el viage de Nueva York á Providencia en catorce horas y cuarenta y seis minutos.

cha entre Brighton y el Havre; y desde entonces se ha estendido mucho su uso, perfeccionándose cada dia su figura y solidez.

594. En 1815 los barcos construidos por Fulton con anticipacion para el objeto, empezaron á navegar periódicamente entre Nueva York y Providencia en Rhode Island, verificándose una parte de la travesia por el Oceano: uno de estos barcos debió haberse enviado á Rusia, pero el gasto considerable que exigia el viage hizo desistir á sus dueños de la idea por algun tiempo. El *Savaná* lo verificó en 1817, y en el siguiente navegaba un barco de vapor como paquete, de Nueva York á Nueva Orleans, tocando al paso en Charleston y en la Habana.

595. En 1815 hizo un viage un barco de vapor de Glasgow á Londres bajo la direccion de Mr. Jorge Dodd; y en 1820 se estableció la línea de paquetes de esta clase entre Holyhead y Dublin. En 1825 fue desde Londres á Calcuta el barco de vapor *Empresa*, quedando por consecuencia desvanecidas todas las dudas que podian quedar sobre la facilidad de navegar y atravesar el Oceano con el auxilio del vapor; cuyo método no puede compararse sin embargo respecto á economía con el ordinario, y por consiguiente es probable que solo se aplique con ventaja en lo sucesivo al transporte de pasageros, y á los usos de la guerra (1).

---

(1) Una escuadra provista del número competente de barcos de vapor tendria superioridad decidida sobre otra de igual fuerza que careciese de ellos: seria muy facil aplicarlos á dar movimiento á los navios situándolos por la parte opuesta al fuego, y uniéndolos á éstos por medio de un aparato sencillísimo de dos botalones y dos cadenas, que se armaria y desarmaria en un momento; y como generalmente las batallas navales se pierden ó ganan por la imposibilidad de reunir con prontitud en un punto dado la máxima fuerza posible para el ataque ó defensa, por los destrozos que desde el principio sufren las arboladuras, es evidente que este gravísimo



596. En los barcos de vapor que navegan en el Ohio y el Misisipi se usan ahora generalmente máquinas de alta presion; las calderas son comunmente cilíndricas con tubos de calor internos, y la posicion mas usual del Cilindro es horizontal, semejante á la fig. de la Lam. 4: muchos de ellos tienen válvulas cónicas que precisamente deben colocarse en cajas verticales, lo que obliga á variar la disposicion de las de vapor y de desahogo, y el aparato que dá movimiento á aquellas. Ahora mismo se está haciendo en Nueva York una máquina asi dispuesta para un barco que ha de navegar en el rio Hudson; pero no ha sido posible conseguir su plano: la caldera es tubular, y el horno está dispuesto de forma que podrá usar con ventaja el carbon llamado *anthracite*.

597. La navegacion de vapor se introdujo en Francia despues que en Inglaterra: cinco años pasaron, segun se ha visto (art. 588), desde el primer viage favorable de Fulton hasta el primero de Bell sobre la Clyde, y cuatro despues, esto es en 1817, un barco de vapor construido en Inglaterra atravesó el canal de la Mancha, y entrando por el Sena llegó á París. En el mismo año empezaron á navegar en España los del rio Guadalquivir; pero no se han generalizado, porque la escasez de rios y la desigualdad del terreno, que se opone á la abertura de los canales, es causa de que deba darse la preferencia á los caminos de carriles de hierro.

598. Como la navegacion de vapor se perfeccionó en el rio Hudson, los barcos construidos en él han escedido hasta ahora en velocidad á todos los demas, siendo los

---

obstáculo desapareceria por el medio indicado, pudiendo batirse muchas veces los buques con el aparejo aferrado. Tambien serian aquellas menos mortíferas, pues no habria necesidad de tener gente destinada á la maniobra, que es la que mas padece.



fabricados por Mr. R. L. Stevens los mas sobresalientes: dos de ellos andan hasta $13\frac{1}{2}$ millas por hora, y algunas veces han escedido: otros se han acercado tanto á este andar, que la diferencia en una travesia de 150 millas ha sido de pocos minutos. Las ruedas del *Nuevo Filadelfia* dan $25\frac{1}{2}$ revoluciones en un minuto, y el émbolo se mueve con una velocidad de 405 pies en igual espacio, ó 21 pies mas que la que se ha dicho antes tiene el del *América del Norte*. De este aumento de consumo de combustible y de velocidad no aparece haberse conseguido mas ventajas notables que las de sobrepujar á todos los competidores, habiendo llegado á aumentar la velocidad relativa de las ruedas mas que la del barco.

599. El vapor se aplica tambien á dar movimiento á los carruages, cuyas ruedas reciben el movimiento de la máquina del mismo modo que las de paletas de los barcos; y la friccion que esperimentan sobre el terreno las obliga á moverse hácia adelante, mientras no encuentran resistencia á su movimiento progresivo que iguale á la friccion. Las esperiencias hechas por Coulomb y Vince demuestran que en todas las circunstancias en que obran las ruedas, la friccion de sus circunferencias dependerá del peso de que esten cargadas, y de la mayor ó menor aspereza de la superficie recorrida, y de ningun modo de la velocidad. La circunferencia de las ruedas es de hierro, y generalmente los carruages de vapor caminan sobre carriles tambien de hierro, cuyo nombre han tomado los que estan asi dispuestos: estos se componen de barras paralelas de aquel metal colocadas horizontalmente ó con declive suave y uniforme, que hasta ahora es el único método conocido para sacar grandes ventajas de la aplicacion del vapor á este sistema de locomocion. Las causas de la superioridad de estos caminos bajo todos aspectos á los comunes son muy obvias; la resistencia no solamen-

te es regular y uniforme, sino igual en todas las ruedas, cuando en éstos hay una variacion constante de inclinacion en el terreno y en su superficie, encontrándose ademas con mucha frecuencia que afectando solo á una de ellas hacen variar la direccion del carruage. A pesar de todos estos obstáculos se han hecho algunos ensayos regulares de los de vapor sobre los caminos ordinarios.

600. Sin embargo el uso mas comun es el de los carriles de hierro; en ellos la friccion es de este metal contra él mismo, y no es facil prever que pueda llegar á descubrirse el modo de impedir que las ruedas resbalen sobre los carriles cuando adquieren la friccion máxima, como se verifica entre dos piezas de hierro en los ensayos; pues que el polvo, la humedad y otras causas concurren para disminuir la adhesion. Aquella no puede apreciarse con seguridad en mas de $\frac{1}{25}$ del peso; por consiguiente si se aplica una potencia capaz de hacer girar las ruedas de un carruage, seguirá éste moviéndose hácia adelante hasta que la resistencia llegue á ser igual á $\frac{1}{25}$ de su peso, y éste estará en las mismas circunstancias que si fuese tirado por una cuerda capaz de aguantar un esfuerzo igual á $\frac{1}{25}$ del peso del carruage.

601. Las resistencias que se oponen al movimiento progresivo son la friccion sobre los ejes de las ruedas, y las perturbaciones producidas por los choques laterales; la que esperimentan los primeros, siendo de acero sobre cubos de bronce bien untados de aceite, es $\frac{1}{40}$ del peso; y la potencia aplicada para vencerla aumenta de intension en la razon que hay entre los radios de la cigüeña y del eje. Como el de la primera de una fuerza dada no puede aumentarse sin disminuir el area ó velocidad del émbolo, claro es que no resulta utilidad de variar las proporciones de la máquina; y como por otra parte con igual número de revoluciones un punto dado de la circunferencia



de una rueda grande se mueve con mas velocidad que el semejante de una pequeña, y el movimiento progresivo depende de la de la circunferencia, es evidente que aumentará aquella aumentando el diámetro de las ruedas. Este aumento tiene sin embargo su límite en la práctica, porque al paso que crece se eleva el centro de gravedad, y la estabilidad de la máquina disminuye.

602. Podria deducirse á primera vista que como la friccion que obliga al carruage á moverse hácia adelante aumenta en razon directa del peso, éstos y las máquinas mas pesadas serian las mas aparentes para la locomocion; pero como las resistencias aumentan tambien con los pesos, es facil deducir que todos los que no sean absolutamente precisos para la solidez de la máquina son desventajosos. Por consiguiente no pueden aplicarse á este objeto mas que máquinas de alta presion, porque las de condensacion de igual potencia, no solamente son mas pesadas, sino necesitan una cantidad de agua fria para ejecutar ésta, cuyo solo peso seria muy considerable; y es necesario que el tamaño de la caldera y el peso del agua que contiene sean justamente proporcionados al vapor que deben producir para dar movimiento á la máquina.

603. El mecanismo de los carruages que se usan en los caminos de carriles de hierro se está mejorando hace algunos años, y es probable que todavia esté muy distante de la perfeccion; por tanto no se puede establecer proporcion fija entre el peso que es capaz de conducir una máquina locomotriz sobre uno de aquellos, y el de éste y el de la máquina que lo lleva. Los cálculos mas recientes parece que indican que las de esta clase pueden llevar en carruages, provistos de ruedas iguales á las suyas en diámetro, lo menos siete veces su propio peso; pero ni aun con este dato podemos aventurarnos á indicar la proporcion conveniente entre la resistencia efectiva y el peso,



por la cual pudiera calcularse la fuerza impelente. En la actualidad se está trabajando para encontrar un aparato que evite la friccion, y haciéndose pruebas y ensayos para conseguirlo, aunque todavia infructuosamente, á pesar de que los materiales y la mano de obra han llegado á alcanzar el mayor grado de perfeccion posible.

604. Sin embargo deberemos hacer mencion de los pocos principios útiles que se conocen en la práctica.

605. La friccion opone una resistencia que tiene una medida constante en todas las velocidades; pero la de la potencia necesaria para vencerla dependerá asi de la resistencia como de la velocidad: por tanto las potencias de las máquinas por cuyo medio se consiguen velocidades distintas en el mismo carruage, serán proporcionales á éstas. Pero como el tiempo empleado en recorrer un espacio dado está en razon inversa de la velocidad con que se recorre, claro es que toda distancia dada se andará con una velocidad cualquiera, con consumo constante de combustible.

606. Si la velocidad de la misma máquina locomotriz aumenta por la disminucion del peso que arrastra, ó de la friccion, por cuyos dos medios puede conseguirse una variacion limitada de velocidad, el gasto de vapor entonces estará en razon inversa de las velocidades.

607. Facil es conocer por lo que acaba de indicarse, que atendiendo solo á la velocidad, la locomocion es mas ventajosa que la navegacion de vapor, porque la potencia en ésta aumenta como los cubos de las velocidades, y el gasto del combustible como los cuadrados. Por otra parte la friccion en los caminos de carriles de hierro no ha podido disminuirse todavia lo suficiente para poner á este método en estado de competir con la navegacion de vapor y á la sirga, para transportar grandes pesos con velocidades pequeñas; aunque los partidarios de aquellos anun-



cian que bien proto llegarán á reducir la friccion todo lo necesario para nivelar este sistema de acarreo con cualquier otro de los mas ventajosos. Se fundan sus esperanzas indudablemente en el aparato de Atwood, y en el de patente de Garnett, cuyos resultados son capaces de hacer fundar las mas lisonjeras; pero todavia falta que la esperiencia acredite que puede conseguirse igual favorable resultado, aplicando estos principios á las ruedas de los carruages.

608. Evans fue, como se ha dicho antes (art. 586), el primero que consiguió esperanzas fundadas de dar movimiento á estos por medio del vapor, que segun Watt y Robinson era impracticable, estableciendo el primero de estos la imposibilidad de usar para este caso de las máquinas de condensacion; y Evans no solamente fue el primero que indicó la idea, sino que la puso en ejecucion segun se ha indicado en el artículo citado.

609. En 1802 consiguieron patente Trevithick y Vivian para la aplicacion de su máquina de vapor á dar momovimiento á los carruages sobre los caminos de hierro; en 1804 publicaron la descripcion del que pensaban usar en los caminos ordinarios, pero no se hicieron esperiencias hasta 1806 en el de carriles de hierro de Merthyr Tydvil, en el principado de Gales. Al poner el aparato en movimiento resultó que su potencia era menor de la que se habia supuesto, lo que se atribuyó á la falta de adhesion suficiente de las ruedas sobre los carriles, y se dijo tambien que el mal éxito se debió á no haberse movido mas que una rueda; pero de todas las noticias que ha sido posible adquirir resulta que todas cuatro giraban.

610. Un individuo llamado Blenkinsop se presentó para desvanecer este defecto, y propuso la adicion de otro carril de hierro dentado, colocado á lo largo y en el centro del camino, donde debia engranar un piñon que tendria



el carruage y que recibiria el movimiento de la máquina: Se hizo el ensayo resultando que este método era aparente en pequeñas velocidades, y se usó de él desde el año de 1801 que se inventó, hasta poco há, en la mina de carbon de Middleton, cerca de Leeds en Inglaterra; y aunque no sirve cuando la velocidad es considerable, es conveniente para las elevaciones y subidas que tengan mas pendiente de la que puede vencerse por la sola adhesion de las ruedas á los carriles.

611. En 1812 consiguieron patente G. y E. Chapman en Inglaterra, para una máquina locomotriz, cuya potencia se aplicaba por medio de una cadena, cuyos dos estremos estaban fijos, y que pasaba por encima de un eje que tenia el carruage que giraba impelido por la máquina.

612. En 1813 propuso Mr. Brunton, de las ferrerías de Batterly, un proyecto de locomocion de vapor en que empleaba un sistema de palancas semejante en su accion á los huesos de la pierna humana.

613. En 1815 volviendo Dodd y Stephenson de Killingworth en Inglaterra, á los principios originales de la adhesion, obtuvieron resultados completamente satisfactorios demostrando que en los carriles de hierro colocados horizontalmente ó cerca de esta posicion, la sola friccion era suficiente para producir siempre el movimiento progresivo, escepto cuando llegaban á cubrirse de nieve: el aparato tenia seis ruedas, dos de las cuales recibian el movimiento de la máquina, y las cuatro restantes por una cadena sin fin que pasaba por encima de tambores. La práctica ha demostrado que nada se adelanta con el uso de mas de cuatro ruedas.

614. Las máquinas locomotrices se han ido mejorando desde entonces continuamente; se han usado dos cilindros que cada uno ponia en movimiento un par de ruedas; en seguida se dispusieron estos de modo que obra-

sen formando ángulo recto sobre el mismo par de ruedas, y dando movimiento al otro par por medio de barras de conexion, segun manifiesta la fig. de la Lám 9, que representa el hermoso mecanismo hecho en Stourbridge, en Inglaterra, por direccion de Horacio Allen, para la compañía de caminos de carriles de hierro de los rios Delaware y Hudson.

615. Por consecuencia de todos estos adelantos se aumentó gradualmente el peso de las máquinas hasta llegar á ser escesivo, y como el centro de gravedad fue elevándose, disminuyó la estabilidad notablemente: para evitar tan graves inconvenientes se han hecho últimamente esperimentos con máquinas y carruages de poco peso, cuyo resultado ha sido muy favorable, segun se deduce de la perfeccion de los locomotores que trabajan actualmente en los caminos de carriles de hierro de Manchester y Liverpool. La esplicacion de estas pruebas se halla en el Almacen de los mecánicos (*Mechanic's Magazine*), de Noviembre y Diciembre de 1829, y en la Revista trimestre (*Quarterly review*), de Marzo de 1830, á que pueden referirse nuestros lectores.

616. Hace muy poco tiempo que se ha presentado al público un locomotor muy ingenioso inventado por el coronel Miller, de Charleston; su caldera está construida bajo principios nuevos, y dispuesta para servirse del carbon *anthracite*.

617. Al tiempo de concluir este tratado debemos hacer algunas reflexiones sobre la importancia del objeto á que se contrae, teniendo presente que las máquinas de vapor que se han descrito son las de uso mas general y mas perfectas. Este poderoso agente débil é imperfecto al principio, y limitado por espacio de un siglo á dar movimiento á un objeto simple y poco importante, llegó á ser en las hábiles manos de Watt el instrumento de aplicacion

universal, siendo ahora tan útil para las operaciones que requieren la mayor delicadeza, como para las que exigen la máxima potencia. Para su introduccion y adelantos progresivos han sido precisos talentos de invencion de primera clase, y la ejecucion de los ingenios mas sublimes; en los usos á que se le destina vemos desenvueltas y realizadas las brillantes ideas de la poesia; ha variado el estado del mundo alterando las relaciones de la sociedad civilizada; y debemos esperar de sus ulteriores progresos que todavia preste servicios mas importantes, y que llegará á ser el principal agente de todas las operaciones sociales, guerreras y mercantiles.



ERRATAS.

Pag.	Lin.	Dice	Léase
34	6	deben de ser	deben ser
40	11	radiacion, sea	radiacion sea
44	4	se da	se dá
45	21	estension	intension
46	32	calentar, dependiente	calentar dependiente
47	31	deben de ser	deben ser
49	2	pequeñas, que	pequeñas que
62	25	hierro batido	hierro colado
65	11	valvuelas	válvulas
70	31	Babcoek	Babcock
103	4 y 6	promotores	motores
id.	11	circular, en	circular en
id.	13	máquinas, y	máquinas y
id.	21	caldera, y	caldera y
146	10	El fondo del	El largo del
152	15	firme en el	firme el
156	20	que al	que el
id.	id.	varian, con	varian con
id.	15	emplea es	emplea en
192	6	altura es aquella	altura aquella
201	23	mayores, producen	mayores producen
209	4, 13, 19, 27	Fiteh	Fitch



Fig. 1.

Fig. 3.

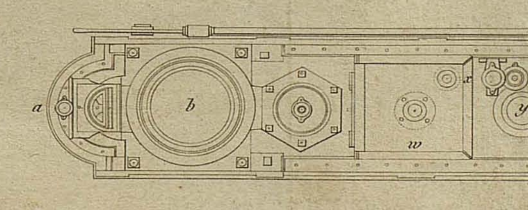


Fig. 1.

2 e 3 4 d u r g b 5 a

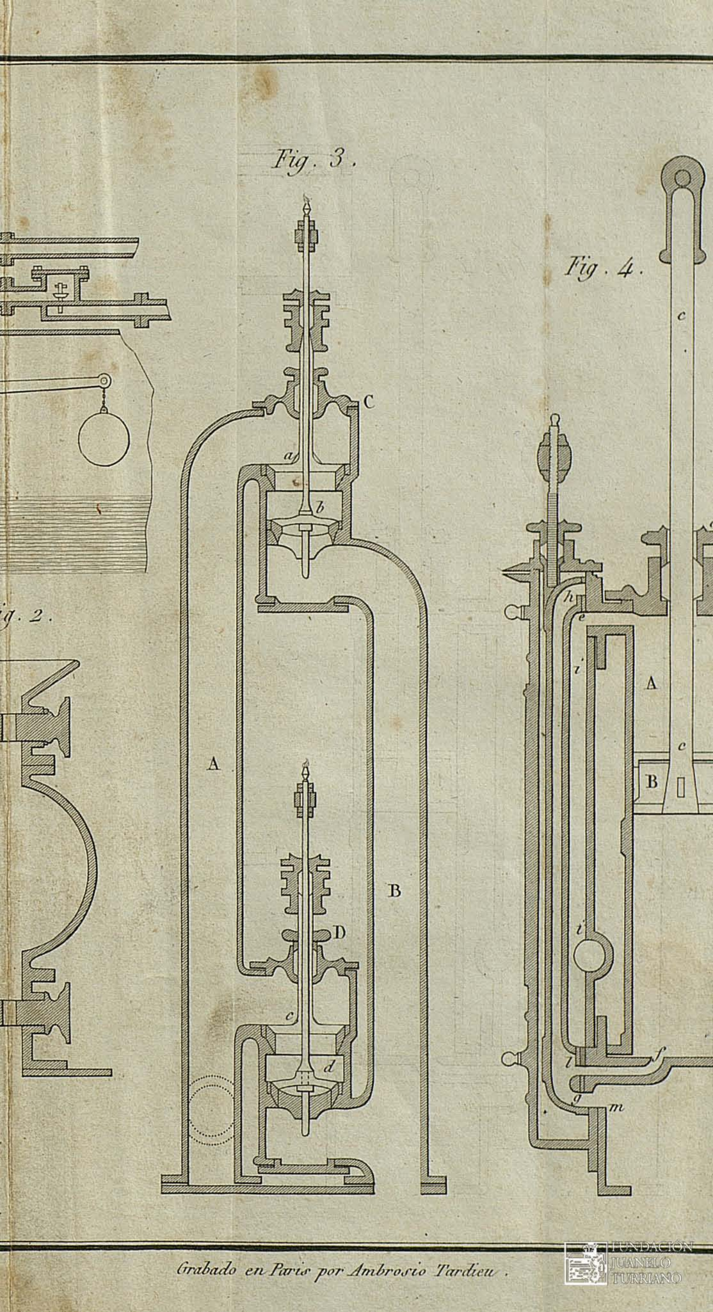
Fig. 3.

a b x y w

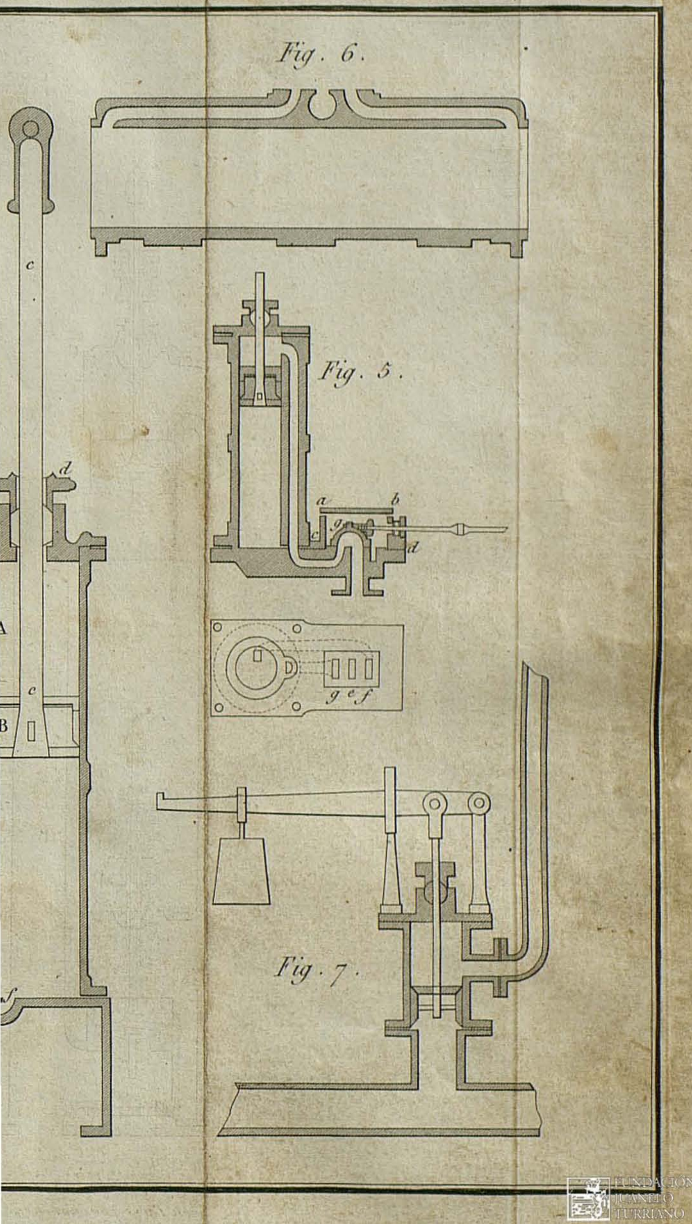
Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 8.

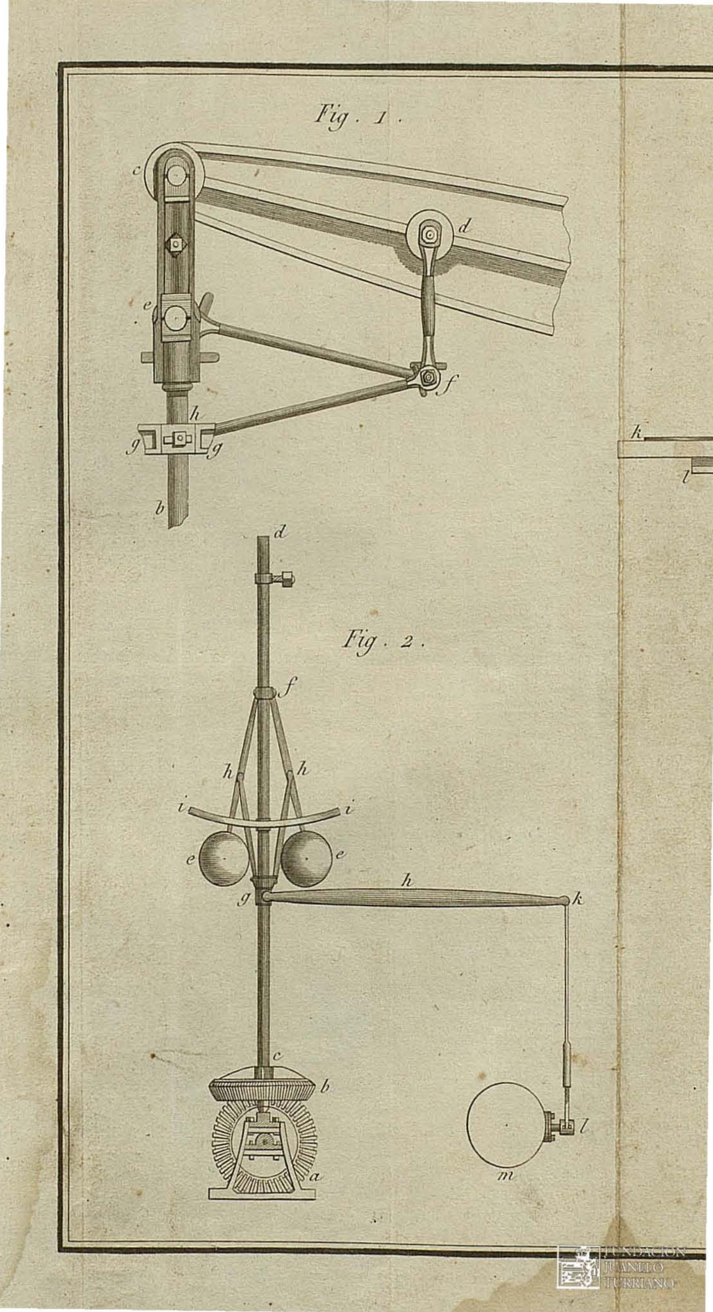


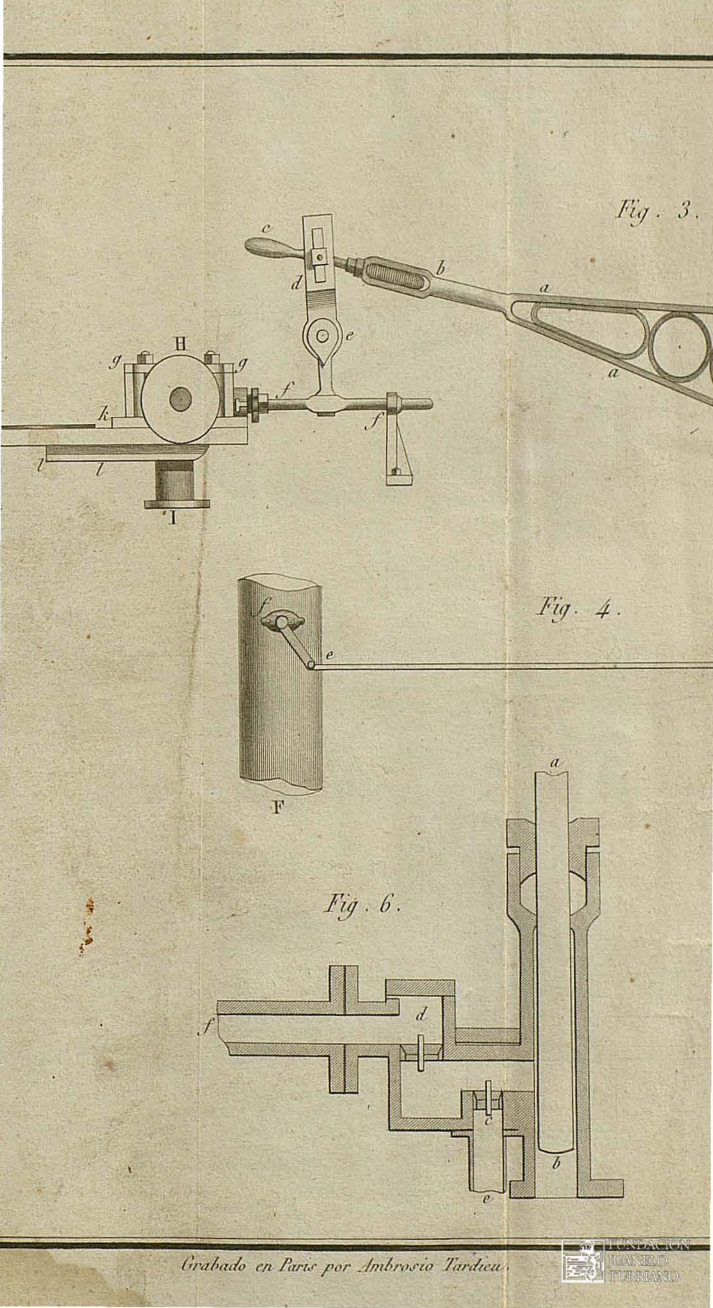
Grabado en Paris por Ambrosio Tardieu.


Fig. 6.
Fig. 5.
a
b
c
g
d
g e f
c
d
A
c
B
f
Fig. 7.






Fig. 1.
c
d
e
f
h
g
g
b
k
l
d
Fig. 2.
f
h
h
i
i
e
e
h
g
k
c
b
l
a
m


Fig. 3.
c
b
d
a
e
H
g
g
f
k
f
a
l
l
I
Fig. 4.
f
e
F
a
Fig. 6.
d
f
c
b
e
Grabado en Paris por Ambrosio Tardieu.

Lª 4ª

Fig. 5.

. 3.

A b

a

B

A

a

C

d

d

E

k g

f

h

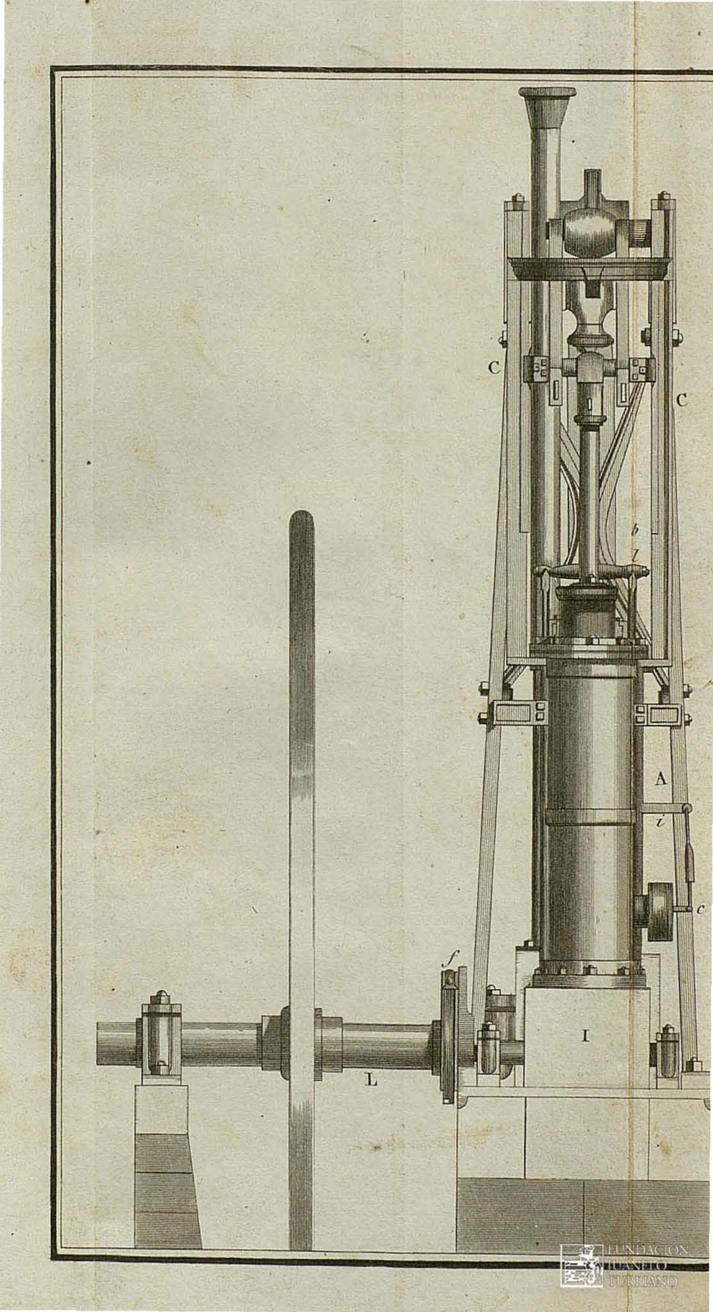
a b

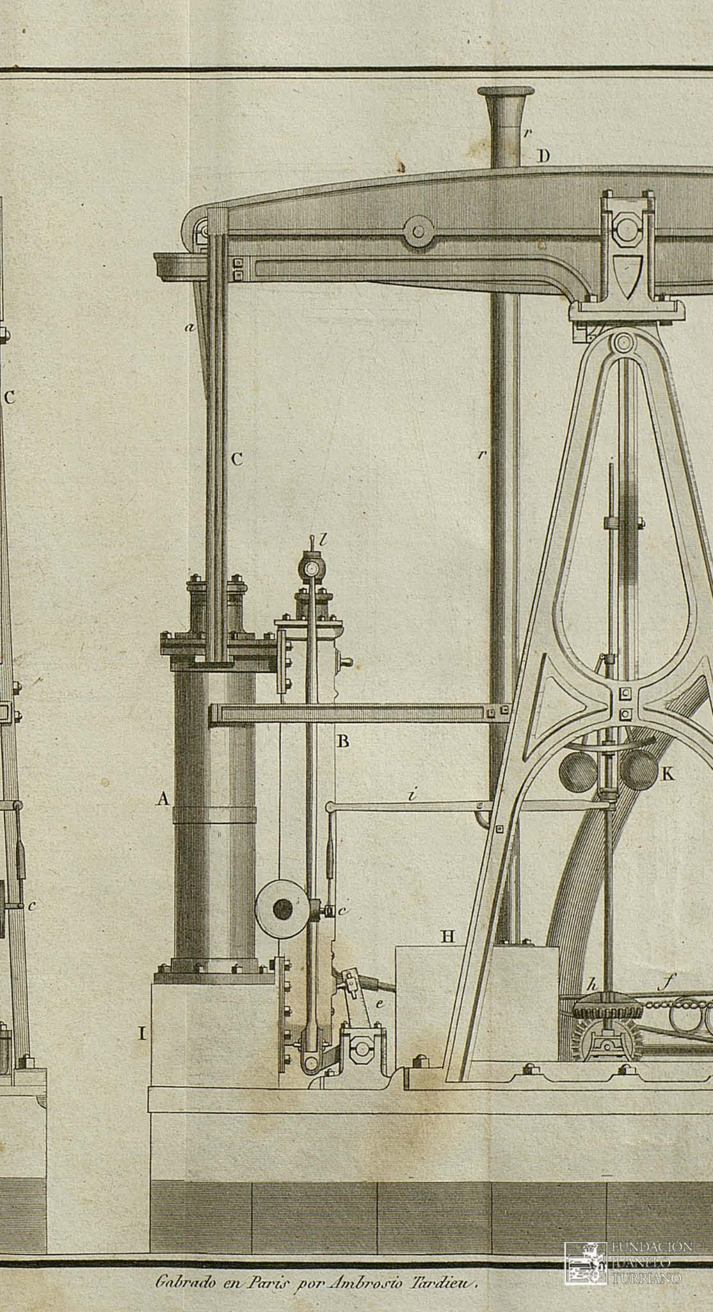
c

i

g

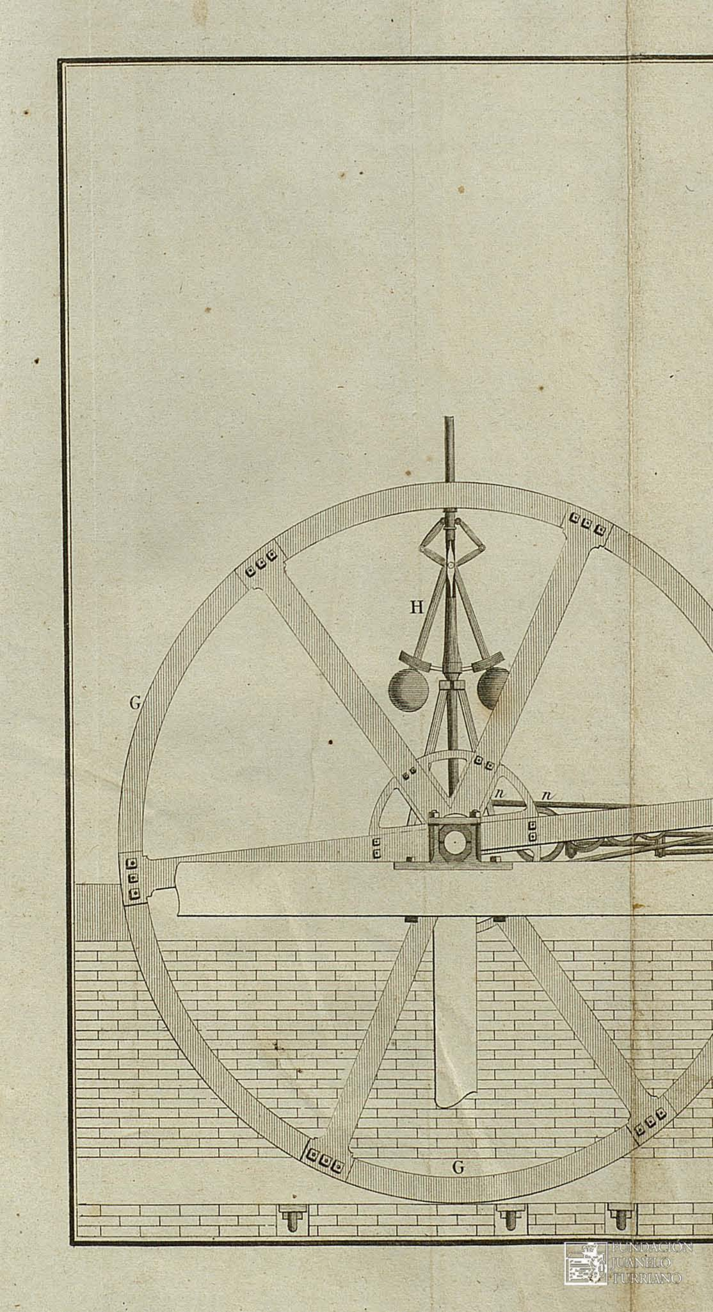


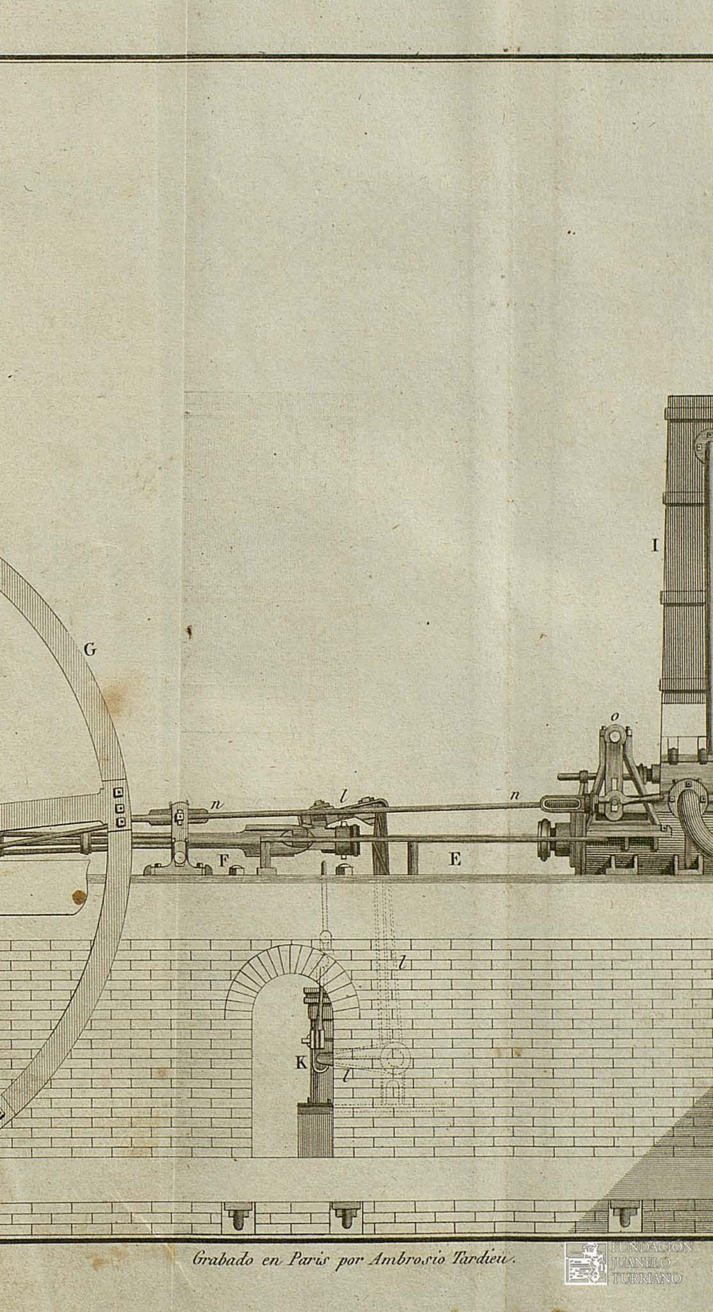

C
C
b
l
A
i
c
f
I
L



Gabrado en Paris por Ambrosio Tardieu.

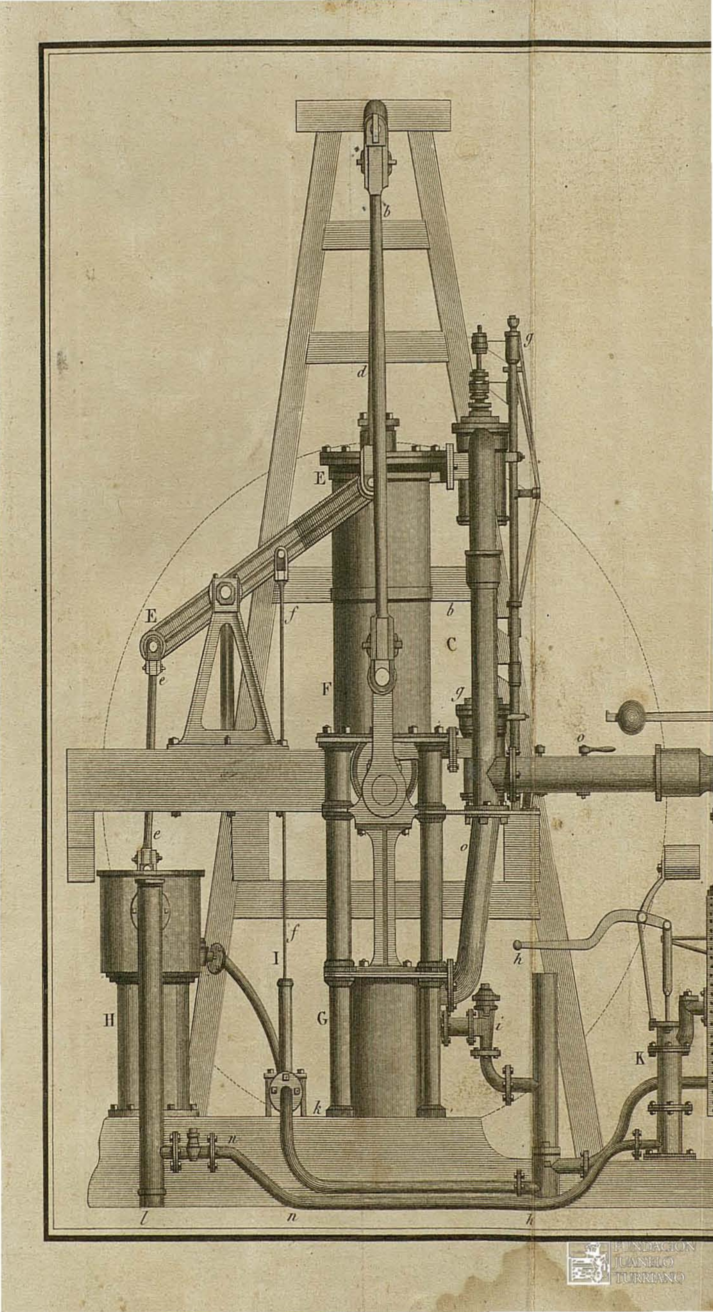
d
E
G
K
h
f
f
g
F

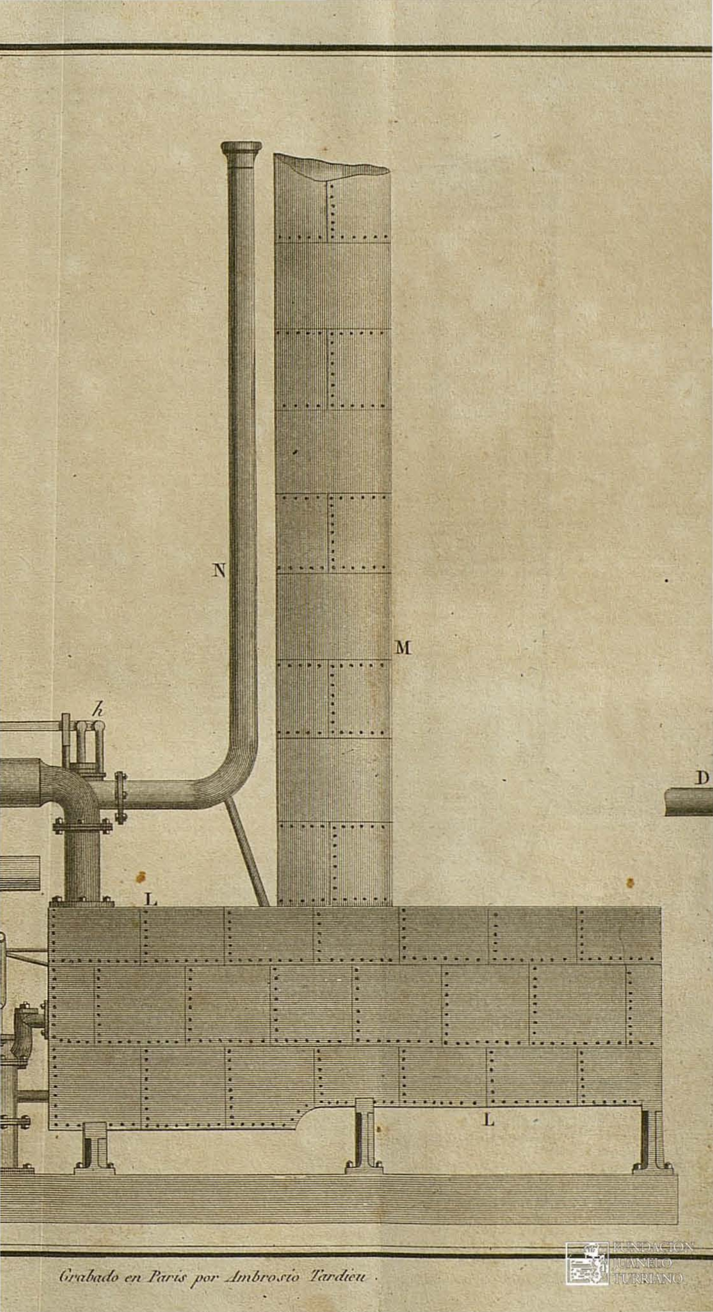

H
G
n
n
G


G
I
o
n
l
n
F
E
l
K
l
Grabado en Paris por Ambrosio Tardieu.

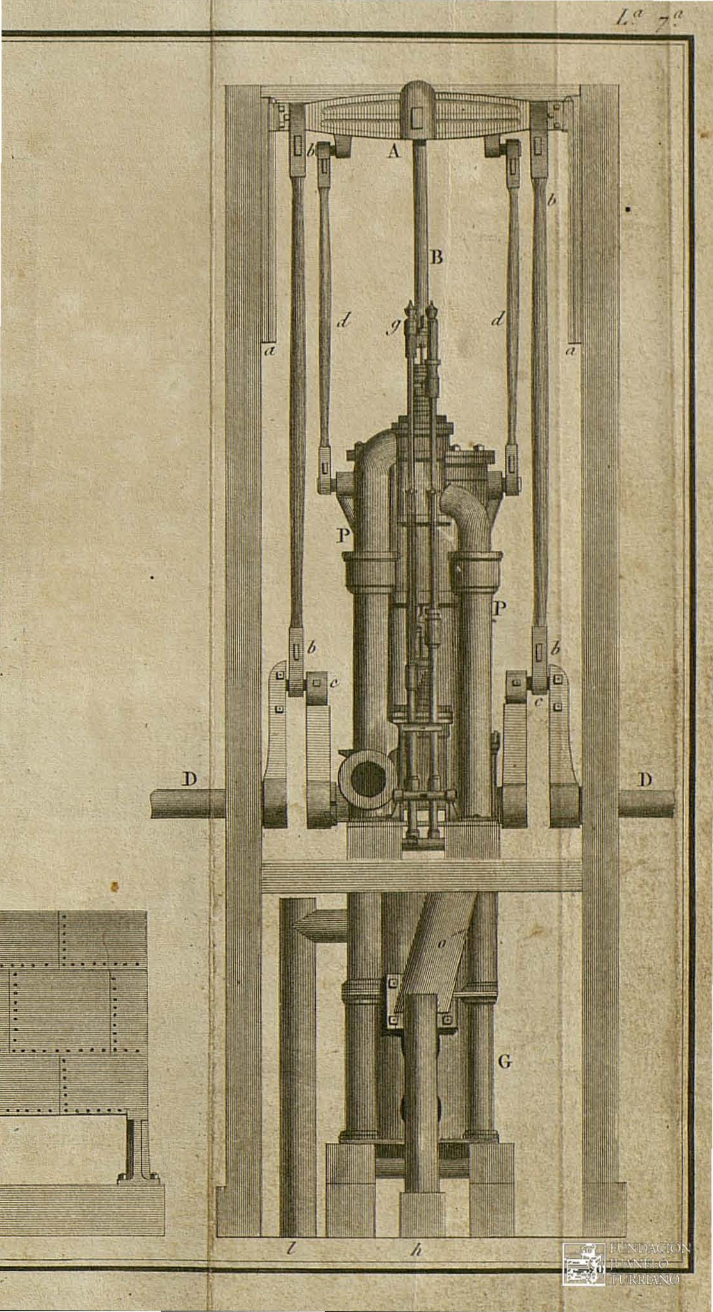
e
k
e
h
L
g
d
c
b
d
f
b
b
C p
C p
a
B
B
A

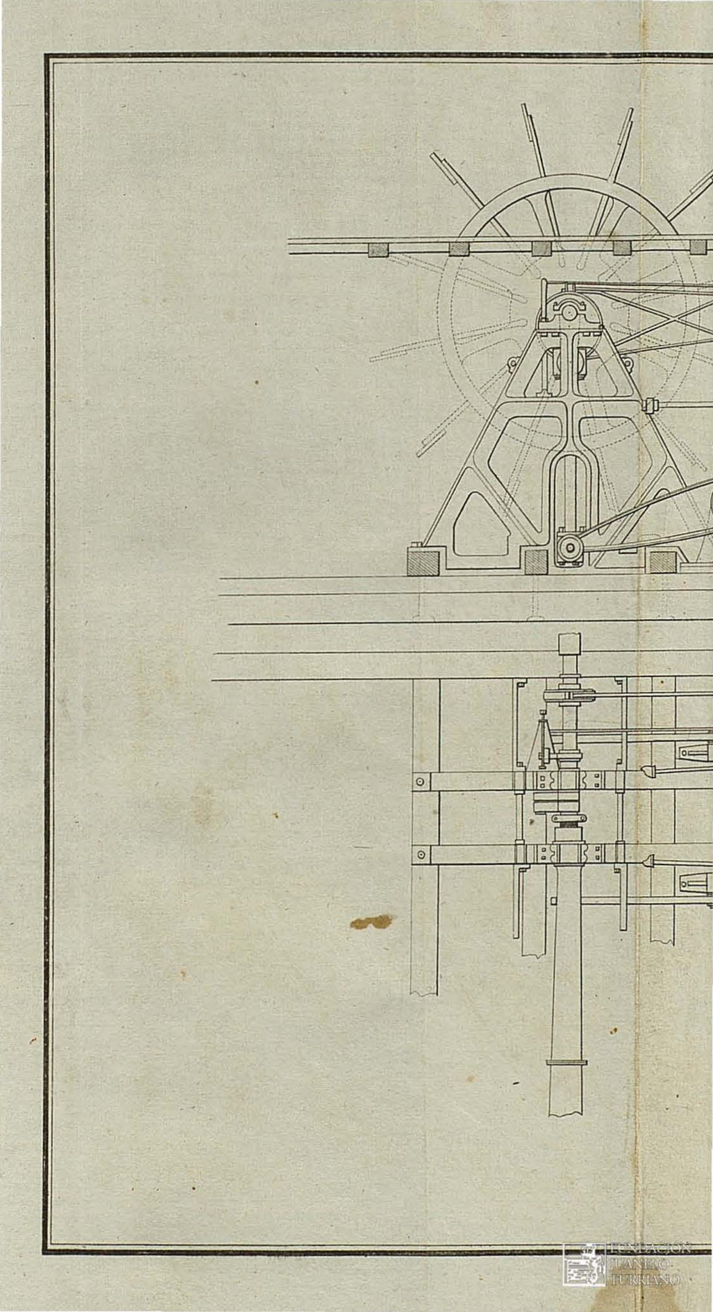


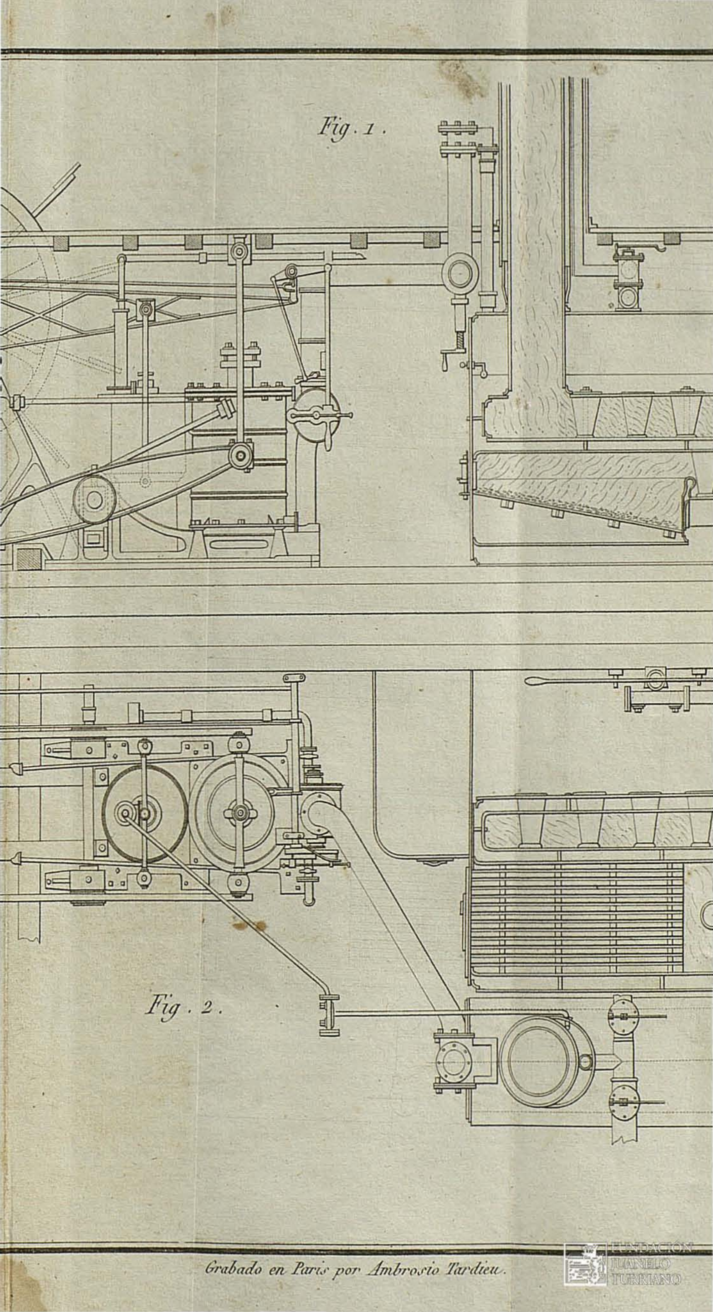

b
g
d
E
E
f
b
C
e
F
g
o
e
o
f
I
h
H
G
i
K
k
n
l
n
h

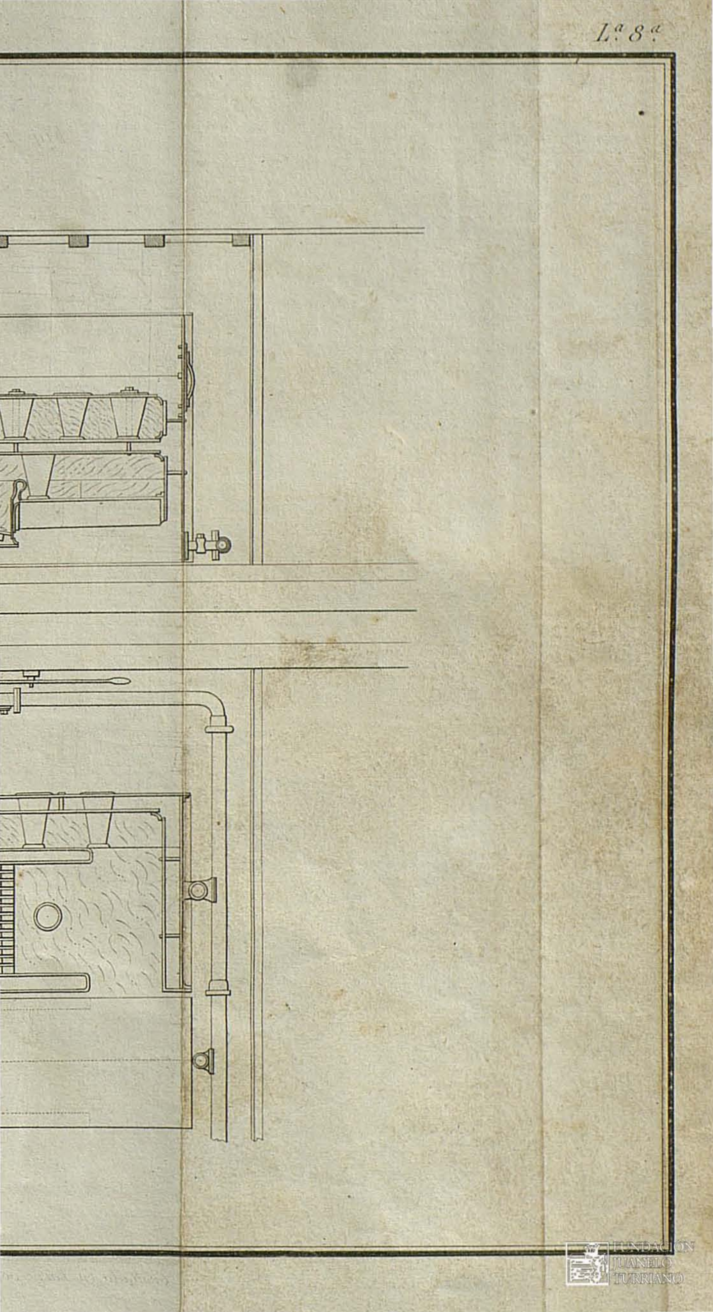


Grabado en Paris por Ambrosio Tardieu.

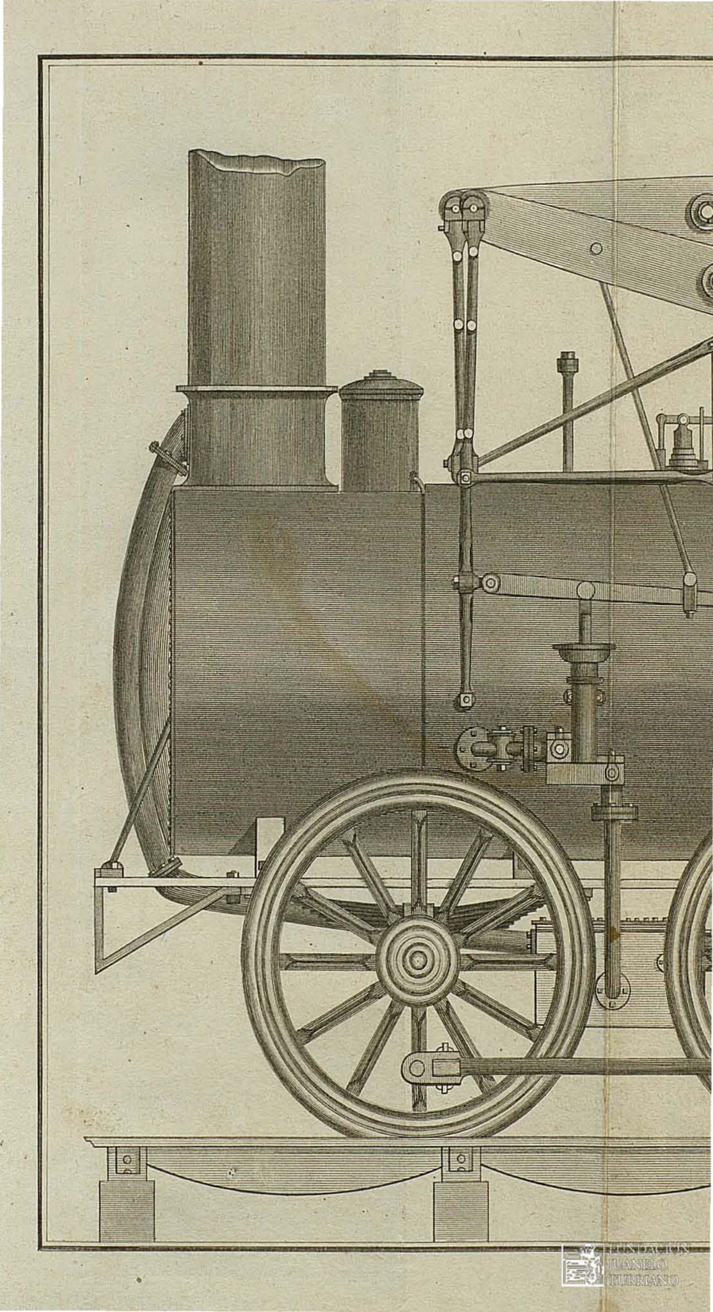

A
b
b
B
d
g
d
a
a
P
P
b
b
c
c
D
D
o
G
l
h

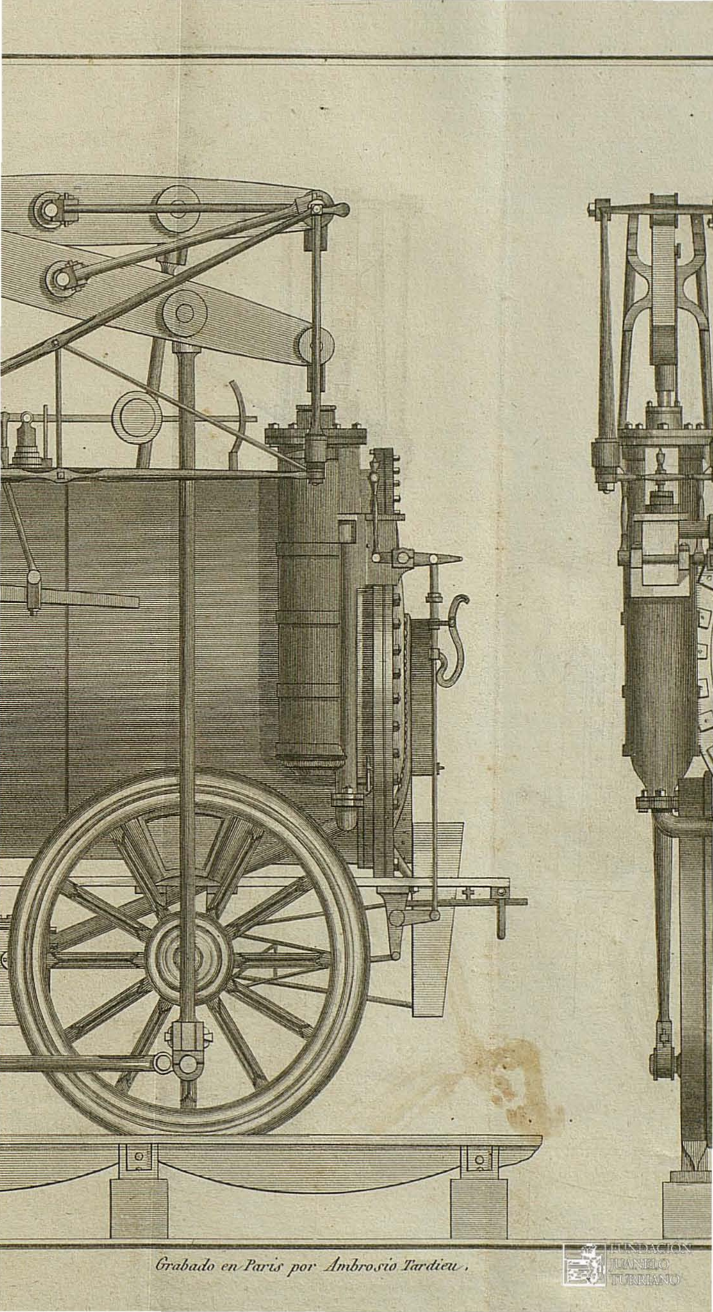



Fig. 1.
Fig. 2.
Grabado en Paris por Ambrosio Tardieu.








Grabado en Paris por Ambrosio Tardieu.

Lª. 9ª.



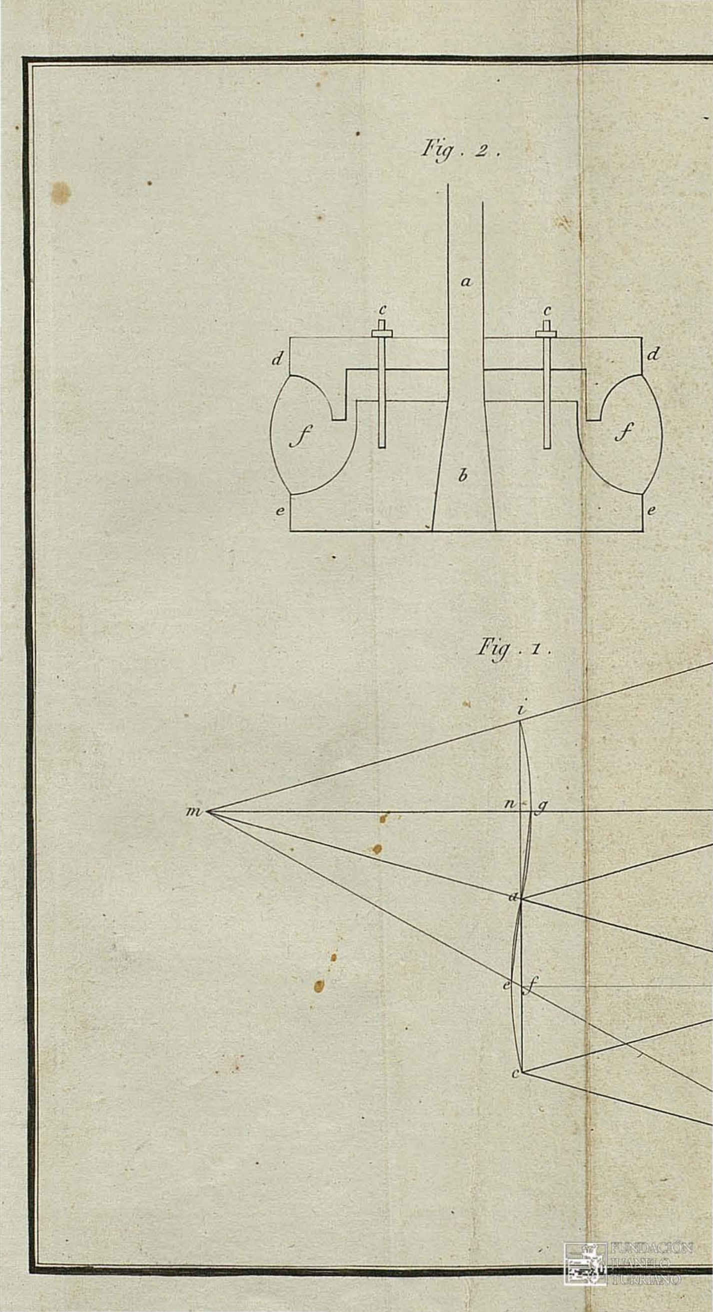
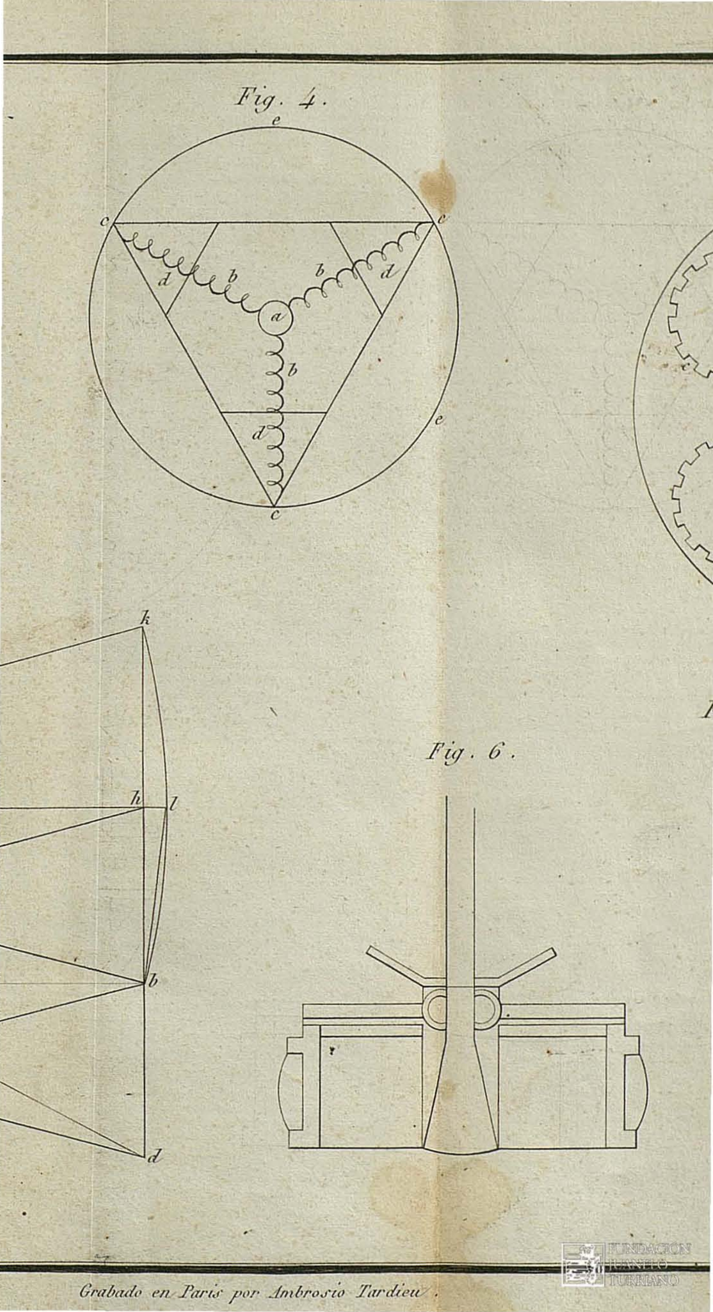


Fig. 2.
a
c
c
d
d
f
f
b
e
e
Fig. 1.
i
m
n
g
a
e
f
c



Grabado en Paris por Ambrosio Tardieu.

Fig. 3.

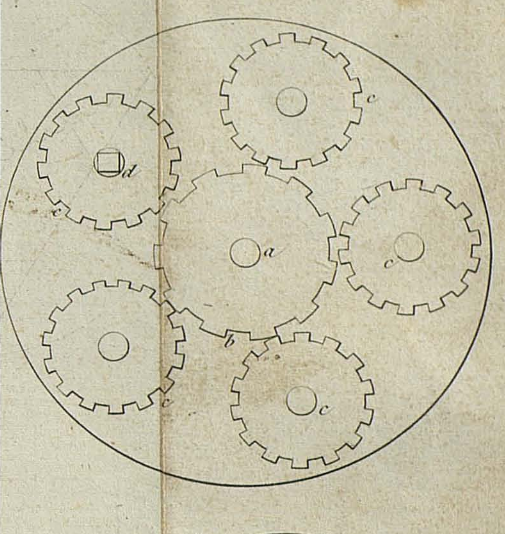
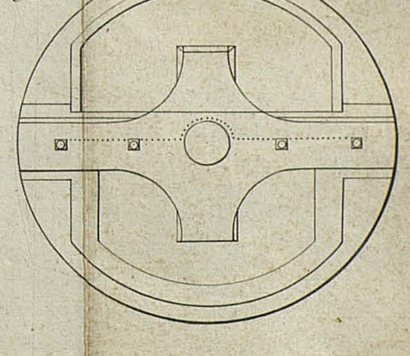


Fig. 5.



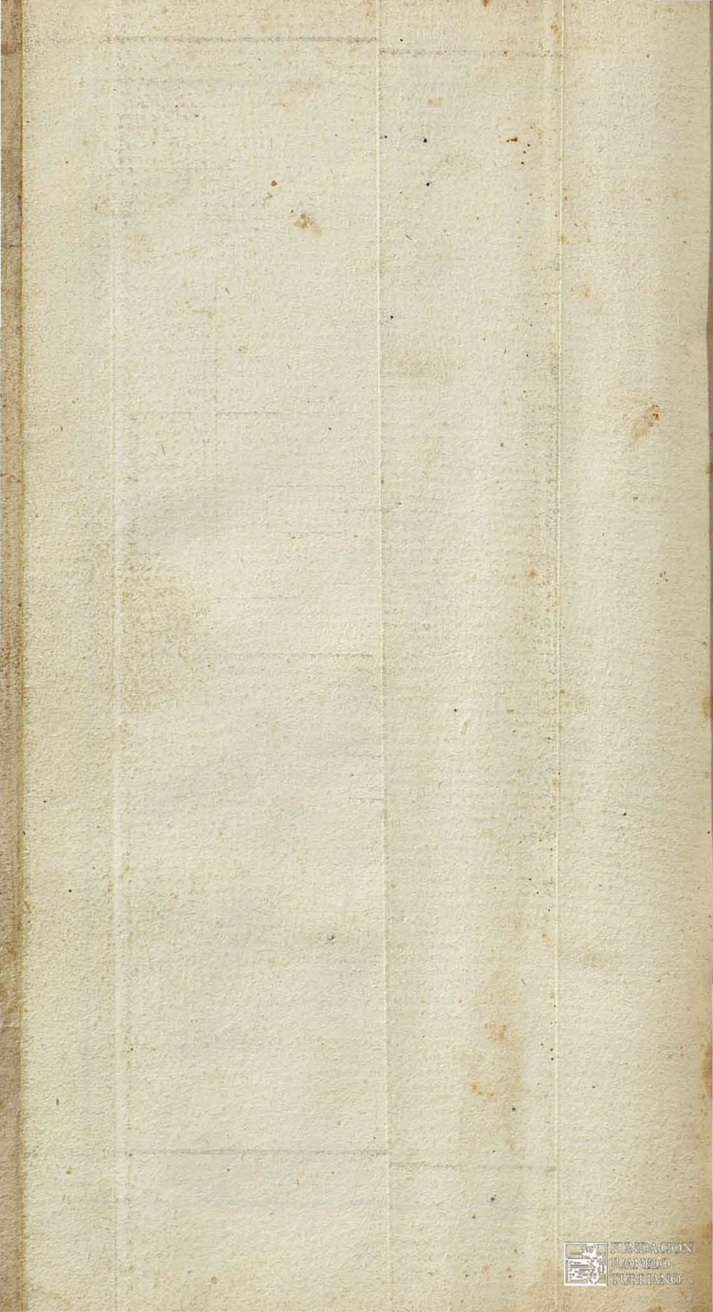
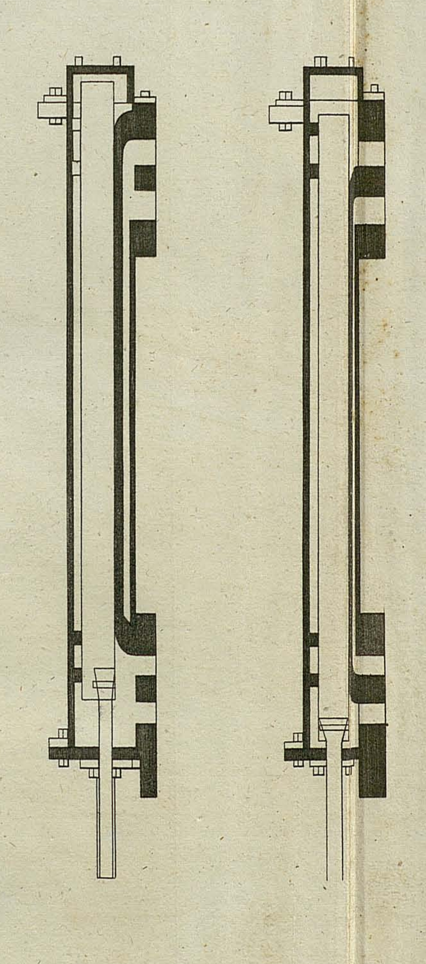
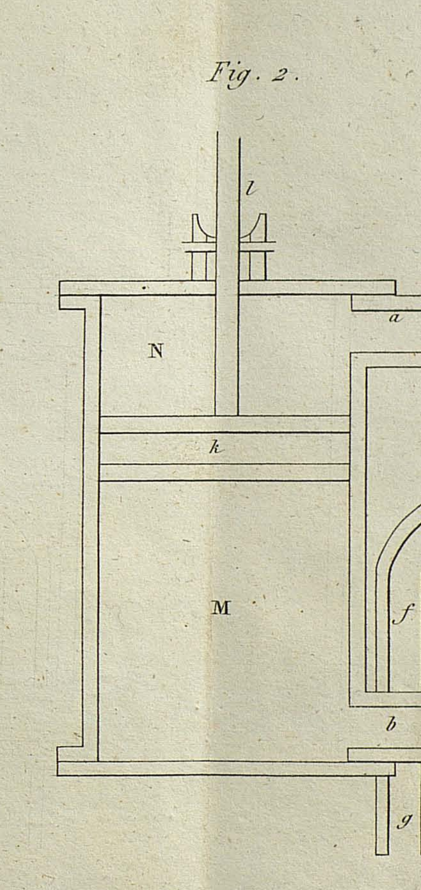


Fig. 1.



Grabado



Grabado en Paris por Ambrosio Tardieu.

Fig. 3.

